

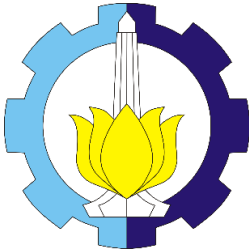
TUGAS AKHIR
MM-091381

**Pengaruh Temperatur Aging dan Waktu Holding Aging
Presipitasi Hardening Pada Struktur Mikro dan Sifat
Mekanik Paduan Mg-5Al-1%Y untuk Aplikasi Komponen
Otomotif Temperatur Tinggi**

Rieco Malik Darmawan
NRP. 2710 100 009

Dosen Pembimbing
Sutarsis, ST., M.Sc. Eng
NIP. 19770817 2 005011001

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT
MM-091381

**Effect Of Temperature and Holding Time Aging Precipitation
Hardening In Microstructure and Mechanical Properties of
Mg-5Al-1% Y alloys for High Temperature Automotive
Components Application**

Rieco Malik Darmawan
NRP. 2710 100 009

Advisor
Sutarsis, ST., M.Sc. Eng
NIP. 19770817 2 005011001

Department of Material And Metallurgy Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2014

**Pengaruh Temperatur Aging dan Waktu Holding Aging
Presipitasi Hardening Pada Struktur Mikro dan Sifat
Mekanik Paduan Mg-5Al-1%Y untuk Aplikasi Komponen
Otomotif Temperatur Tinggi**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas
Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Rieco Malik Darmawan
NRP 2710.100.009

Disetujui Oleh Tim Pengaji Tugas Akhir :

Sutarsis, S.

(Pembimbing)



Juli 2014

**Pengaruh Temperatur Aging dan Waktu Holding Aging
Presipitasi Hardening Pada Struktur Mikro dan Sifat Mekanik
Paduan Mg-5Al-1%Y untuk Aplikasi Komponen Otomotif
Temperatur Tinggi**

Nama : Rieco Malik Darmawan

NRP : 2710100009

Dosen Pembimbing : Sutarsis, ST., M.Sc. Eng

ABSTRAK

Paduan magnesium banyak diaplikasikan pada dunia otomotif mobil atau motor dan mesin pesawat terbang. Hal ini dikarenakan berat dari magnesium sendiri yang sangat ringan dan memiliki kekuatan tinggi. Serta paduan magnesium memiliki konduktifitas termal yang baik, modulus elastisitas yang tinggi dan memiliki sifat mekanik yang baik. Pada penelitian ini menggunakan paduan Mg 5Al 1%Y proses conventional melting pada temperatur 720°C waktu holding 1 jam dan didinginkan secara lambat. Variasi temperatur aging adalah 150°C, 200°C dan 250°C dan waktu holding aging 8 jam, 16 jam dan 24 jam. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu holding aging terhadap mikro struktur, kekerasan dan stabilitas termal. Hasil pengujian karakterisasi yang menggunakan alat uji XRD yang menunjukkan adanya fasa α -Mg, β -Mg₁₇Al₁₂ dan Al₂Y. Hasil pengujian kekerasan pada temperatur 150°C sebesar 71.84 HB, 74.12 HB, 75.94 HB; temperatur 200°C sebesar 79.80 HB, 81.40 HB, 82.79 HB; temperatur 250°C sebesar 89.26 HB, 82.44 HB, 84.26 HB. Hasil koefisien termal yang sesuai dengan aplikasinya adalah ketika temperatur aging 200°C waktu holding 16 jam dengan nilai koefisien termal sebesar 26.73 ppm°C⁻¹.

Kata kunci : paduan Mg-5Al-1%Y, Presipitasi Hardening, Metalografi, XRD, Hardnes.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Effect Of Temperature and Holding Time Aging Precipitation Hardening In Microstructure and Mechanical Properties of Mg-5Al-1% Y alloys for High Temperature Automotive Components Application

Name : Rieco Malik Darmawan

NRP : 2710100009

Lecture : Sutarsis, ST., M.Sc. Eng

ABSTRACT

Magnesium alloys was applied in the automotive world cars or motorcycles and aircraft engines. This is because the weight of the magnesium is very lightweight and have high strength. Magnesium alloys have good thermal conductivity, high elastic modulus and good mechanical properties. In this study using Mg-5Al-1%Y alloys conventional melting process at temperature 720°C with holding time at 1 hour and cooled slowly. Variations aging temperature is 150°C, 200°C and 250°C and holding time aging is 8 hours, 16 hours and 24 hours. The purpose of this study was to determine the effect of aging temperature and holding time on the microstructure, hardness and thermal stability. Characterization test results using XRD show phase α -Mg, β -Mg₁₇Al₁₂ and Al₂Y. Hardness testing result at temperature of 150°C is 71.84 HB, HB 74.12, and 75.94 HB; temperature of 200°C is 79.80 HB, 81.40 HB, and HB 82.79; temperature of 250°C is 89.26 HB, 82.44 HB, and HB 84.26. The results of the thermal coefficient corresponding to the application is when the aging temperature of 200°C with holding time 16 hour with the value of the thermal coefficient of 26.73 ppm°C⁻¹.

Key word: Mg-5Al-1%Y alloys, Precipitation Hardening, microstructure, XRD, hardness.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul :

Pengaruh Temperatur Aging dan Waktu Holding Aging Presipitasi Hardening Pada Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Paduan Mg-5Al-1%Y untuk Aplikasi Komponen Otomotif Temperatur Tinggi

Dalam penyelesaian proyek tugas akhir ini penulis berpegang pada terori yang pernah penulis dapatkan dan hasil bimbingan dari pembimbing tugas akhir, serta pihak-pihak yang membantu sampai terselesaikannya proyek tugas akhir ini.

Proyek tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis untuk menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Material dan Metaurgi FTI-ITS, Surabaya sebagai wujud nyata dan implementasi ilmu yang telah diperoleh di bangku kuliah.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu hingga penulisan buku tugas akhir ini selesai. Penulis menyadari bahwa hasil dari proyek tugas akhir ini masih jauh dari sempurna dan masih terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki dan dibenahi. Oleh karena itu kritik dan saran senantiasa penulis harapkan untuk kemajuan di masa yang akan datang. Atas segala kekurangannya penulis mohon maaf dan semoga hasil dari buku tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua orang. Amien

Surabaya, Juli 2014

Penulis

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Magnesium.....	5
2.1.1 Sifat Atom dan Struktur Kristal	8
2.1.2 Sifat Fisik.....	8
2.1.3 Sifat Elektrik.....	9
2.2 Aluminium	9
2.3 Yttrium	9
2.4 Pengertian Paduan	12
2.4.1 Paduan magnesium.....	13
2.4.2 Paduan Mg Al Y	17
2.5 Peran Yttrium pada Paduan Magnesium	17
2.6 Pengerasan Presipitasi	19
2.7 Aplikasi Paduan Magnesium.....	22



2.7.1 Persyaratan Aluminium untuk Aplikasi Engine Block	24
2.8 Penelitian Sebelumnya	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Pelaksanaan Penelitian	33
3.3 Bahan dan Peralatan Penelitian	35
3.3.1 Bahan Penelitian	35
3.3.2 Peralatan Penelitian	36
3.4 Variabel Penelitian	41
3.5 Pengujian	41
3.5.1 Metalografi	41
3.5.2 Hardness	42
3.5.3 XRD	42
3.5.4 TMA	42

BAB IV ANALISA DATA dan PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data	45
4.1.1 Hasil Pengujian XRD	45
4.1.2 Hasil Pengujian Struktur Mikro	50
4.1.3 Hasil Pengujian Kekerasan	57
4.1.4 Hasil Pengujian TMA	58
4.2 Pembahasan	61

BAB V KESIMPULAN dan SARAN

5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67

DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	71



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Magnesium	5
Tabel 2.2	Densitas Material Struktuk Secara Umum	6
Tabel 2.3	Karekteristik Aluminium.....	10
Tabel 2.4	Karakteristik Yttrium	12
Tabel 2.5	Kode ASTM pada Unsur Paduan Magnesium	14
Tabel 2.6	Efek Unsur-unsur pada Paduan Magnesium	15
Tabel 2.7	Aplikasi Magnesium Secara Global dalam hal <i>automobile</i>	23
Tabel 2.8	Efek Penambahan Unsur <i>Rare Earth</i> Pada Fasa di Dalam Paduan Mg 4Al	29



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Magnesium	5
Gambar 2.2 Aluminium.....	10
Gambar 2.3 Yttrium	12
Gambar 2.4 Diagram Fasa Al-Mg	17
Gambar 2.5 Diagram Fasa Mg-Y	18
Gambar 2.6 Diagram Fasa Mg-Y, Batas Kelarutan Yttrium pada Mg	19
Gambar 2.7 Proses Presipitasi <i>Hardening</i> Mg-Al	20
Gambar 2.8 Skema Proses <i>Aging</i>	22
Gambar 2.9 Efek Temperatur <i>aging</i> Terhadap Nilai Kekerasan pada Paduan AZ80 dan ZK60	26
Gambar 2.10 Efek Temperatur <i>aging</i> dan Waktu <i>holding</i> Terhadap Nilai Kekerasan pada Paduan WE90 .	27
Gambar 2.11 Hasil Struktur Mikro Paduan Mg 4Al 1.5La Menggunakan Larutan etsa (75mL glycol + 24mL H ₂ O + 1mL HNO ₃)	28
Gambar 2.12 Hasil X-Ray Diffraction dari Paduan Mg 4Al 1.5La	29
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian	32
Gambar 3.2 Temperatur Solution Treatment vs Waktu <i>aging</i> dan Temperatur <i>aging</i> untuk Presipitasi <i>Hardening</i> Paduan Mg 5Al 1% Y	33
Gambar 3.3 Hasil <i>conventional melting</i> Mg 5Al 1% Y (a) Hasil <i>conventional melting</i> Mg 5Al 1% Y yang Telah Dilakukan Proses <i>aging</i> 150 ⁰ C, 200 ⁰ C dan 250 ⁰ C dengan Waktu <i>holding</i> 8jam, 16 jam dan 24jam (b).....	34
Gambar 3.4 Magnesium	35
Gambar 3.5 Aluminium.....	35
Gambar 3.6 Yttrium	36
Gambar 3.7 Gergaji Besi	36
Gambar 3.8 Timbangan Digital.....	37
Gambar 3.9 Tungku Modifikasi	37



Gambar 3.10	Cawan Keramik	38
Gambar 3.11	Furnace	38
Gambar 3.12	Oven.....	39
Gamabr 3.13	Alat Uji Hardeness.....	39
Gamabr 3.14	Alat Uji XRD.....	40
Gamabr 3.15	Alat Uji TMA (a) Mesin <i>warming up</i> (b)	40
Gamabr 3.16	Alat Uji Metalografi	41
Gambar 4.1	Hasil Uji XRD Mg 5Al 1%Y Sebelum Diberikan Proses Perlakuan Panas	46
Gambar 4.2	Hasil Uji XRD Mg 5Al 1%Y Setelah Proses Perlakuan Panas Temperatur 150°C (a) <i>holding</i> 8jam (b) <i>holding</i> 16jam (c) <i>holding</i> 24jam.....	47
Gambar 4.3	Hasil Uji XRD Mg 5Al 1%Y Setelah Proses Perlakuan Panas Temperatur 200°C (a) <i>holding</i> 8jam (b) <i>holding</i> 16jam (c) <i>holding</i> 24jam.....	48
Gambar 4.4	Hasil Uji XRD Mg 5Al 1%Y Setelah Proses Perlakuan Panas Temperatur 250°C (a) <i>holding</i> 8jam (b) <i>holding</i> 16jam (c) <i>holding</i> 24jam.....	49
Gambar 4.5	Struktur Mikro Mg 5Al 1%Y Sebelum Dilakukan Proses Perlakuan Panas dengan Perbesaran 100x	51
Gambar 4.6	Struktur Mikro Mg 5Al 1%Y Temperatur 150°C dengan Waktu <i>holding</i> (a) 8jam (b) 16jam (c) 24jam (Perbesaran 100x).....	52
Gambar 4.7	Struktur Mikro Mg 5Al 1%Y Temperatur 200°C dengan Waktu <i>holding</i> (a) 8jam (b) 16jam (c) 24jam (Perbesaran 100x).....	54
Gambar 4.8	Struktur Mikro Mg 5Al 1%Y Temperatur 250°C dengan Waktu <i>holding</i> (a) 8jam (b) 16jam (c) 24jam (Perbesaran 100x).....	56
Gambar 4.9	Grafik Kekerasan paduan Mg-5Al-1%Y Terhadap Temperatur <i>aging</i>	57
Gambar 4.10	Grafik Kekerasan paduan Mg-5Al-1%Y Terhadap Waktu <i>holding</i>	58



Gambar 4.11	Grarik Koefisien Ekspansi Termal Terhadap Penambahan Temperatur Material Mg 5Al 1%Y Temperatur <i>aging</i> 200 ⁰ C waktu <i>holding</i> 8 jam	59
Gambar 4.12	Grarik Koefisien Ekspansi Termal Terhadap Penambahan Temperatur Material Mg 5Al 1%Y Temperatur <i>aging</i> 200 ⁰ C waktu <i>holding</i> 16 jam	59
Gambar 4.13	Grarik Koefisien Ekspansi Termal Terhadap Penambahan Temperatur Material Mg 5Al 1%Y Temperatur <i>aging</i> 200 ⁰ C waktu <i>holding</i> 24 jam	60



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkurangnya persediaan bahan bakar fosil dunia dan kenaikan harga bakar yang drastis, telah memaksa industri otomotif untuk mencari bahan pengganti besi dan baja dengan bahan yang lebih ringan. Terdapat kenaikan minat pada konstruksi ringan sejak industri mobil berkomitmen akan mengurangi sebesar 25 % konsumsi bahan bakar untuk semua mobil baru mulai tahun 2005 [2]. Dalam industri otomotif, pengurangan berat kendaraan berarti juga mengurangi biaya bahan bakar dan juga mengurangi jumlah emisi gas buang kendaraan. Material magnesium merupakan salah satu bahan yang mulai dijadikan bahan alternatif. Magnesium adalah logam yang paling ringan, diantara logam yang paling ringan dalam suatu struktur. Selain itu, magnesium merupakan elemen terbanyak kedelapan yang membentuk 2% berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut [1]. Namun ada kekurangan dari material magnesium, magnesium merupakan material yang mudah terbakar terutama pada saat pemesinan dengan kecepatan potong dan pengikisan yang tinggi. Seiring dengan peningkatan kecepatan potong terjadi penumpukan magnesium pada rusuk pahat disebabkan karena pelengketan antara pahat potong dan benda kerja. Ini mengakibatkan masalah pemesinan yang



serius berkaitan dengan getaran dan toleransi. Hal yang lebih penting adalah bahaya penyalan api pada pemesian kering paduan magnesium. Api akan terjadi bila titik leleh ($400-600^{\circ}\text{C}$) tercapai [3].

Magnesium dalam aplikasi otomotif biasanya di padukan dengan unsur paduan seperti; Al, Ag, Mn, Zn, Si, Zr. Dalam salah satu jurnal lain menyebutkan metode efektif yang digunakan untuk meningkatkan kekerasan pada magnesium (Mg) ditambahkan unsur yttrium atau RE (rare element). Metode yang digunakan adalah dengan cara memanaskan paduan Mg pada temperature 200°C lalu dilakukan penahanan temperatur selama 4 jam, 8 jam, 16 jam, atau hingga 1000 jam. Namun seiring bertambahnya waktu penahanan yang cukup lama mengakibatkan penurunan kekerasan yang sangat drastis. Sehingga menyebabkan kekerasan pada paduan magnesium ini menurun. Qiuming Peng (2012), menyebutkan bahwa waktu yang cocok untuk penahan temperatur pada paduan magnesium tidak lebih dari 30 jam. Karena semakin lama penahanan temperatur menyebabkan kekerasan menurun dan sifat mekaniknya juga akan berubah, begitu pula pada struktur mikronya.

R. Muraliraja (2013), menyebutkan bahwa penambahan yttrium (Y) sangat banyak ditemukan pada paduan Mg. Kelarutan maksimum dari yttrium pada paduan Mg adalah sebesar 7% pada temperatur kamar. Yttrium dianggap sebagai salah satu elemen yang paling efektif untuk meningkatkan sifat mekanik paduan magnesium (Mg).



Yttrium efektif pada proses pengerasan melalui solid solution, dan modifikasi rekristalisasi struktur. Namun belum dapat sepenuhnya dibuktikan bagaimana elemen yttrium (Y) mempengaruhi sifat mekanik paduan magnesium. Maka dari itu, perlu dipelajari kembali pentingnya pengaruh penambahan yttrium (Y) terhadap sifat mekanik dan beberapa sifat lainnya pada paduan magnesium (Mg).

Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan pengembangan *precipitation hardening* dengan variasi temperatur 150°C, 200°C dan 250°C dengan waktu *holding* 8 jam, 16 jam dan 24 jam untuk paduan Mg-5Al-1%Y dengan focus analisis pengaruh perubahan struktur mikro dan sifat mekaniknya.

1.2 Perumusan Masalah

Pemasalahan yang diteliti dalam tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh variasi temperature (T) *aging* dan waktu (t) *hold aging* pada paduan Mg-5Al-1%Y terhadap fasa, mikrostruktur, dan sifat mekanik.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil akhir yang baik dan sesuai dengan yang diinginkan dan tidak menyimpang dari permasalahan maka batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak ada proses oksidasi
2. Pencampuran Mg, Al dan Y dianggap homogen



3. Unsur-unsur pengotor Mg, Al, dan Y dianggap tidak ada

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah meneliti pengaruh waktu *aging* dan temperatur *aging* pada paduan Mg-5Al-1%Y terhadap struktur mikro, kekerasan dan stabilitas termal.

1.5 Manfaat

1. Mempelajari mekanisme *precipitation hardening* paduan Mg-5Al-1%Y
2. Mempelajari efek penambahan unsur yttrium pada paduan magnesium
3. Data hasil penelitian ini dapat dijadikan informasi yang saling melengkapi dan komprehensif dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya tentang *precipitation hardening* pada paduan magnesium
4. Menambah pengetahuan dalam pengembangan paduan material ringan berbasis paduan magnesium pada komponen otomotif

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Magnesium (Mg)

Magnesium adalah logam kuat, berwarna putih keperakan, ringan (satu pertiga lebih ringan dari alumunium) dan akan menjadi kusam jika dibiarkan pada udara. Dalam bentuk serbuk, logam ini sangat reaktif dan bisa terbakar dengan nyala putih apabila udaranya lembab. Magnesium merupakan salah satu jenis logam dengan karakteristik sama dengan alumunium tetapi magnesium memiliki titik cair yang lebih rendah dari pada alumunium. Seperti pada aluminium, magnesium juga sangat mudah bersenyawa dengan oksigen. Perbedaannya adalah magnesium memiliki permukaan yang keropos, hal ini disebabkan oleh adanya kelembaban udara yang kering (Ghanie Ripandi Utomo).



Gambar 2.1 Magnesium
(<http://en.wikipedia.org/wiki/Magnesium>)

Tabel 2.1 Karakteristik Magnesium (W. D Calister, 2003)

Sifat	Nilai
No. Atom	12
Spesific gravity	1.7 gr/cm ³
Melting Point	650°C
Coefficient of Thermal Expansion (20-100°C)	24.8 x 10 ⁶



Modulus elastisitas	45.000 N/mm ²
Modulus elastisitas geser	17.000 N/mm ²
Densitas	2,7 g.cm ⁻³
Vickers hardness	260 Mpa

Magnesium ialah unsur ke-enam yang sangat melimpah terletak di kerak bumi, yang mewakili 2,7% dari kerak bumi (M.M Avedesian, 1999). Walaupun magnesium tidak ditemukan dalam bentuk unsumnya berupa biji tetapi senyawa magnesium dapat ditemukan diseluruh dunia. Senyawa yang paling umum adalah magnesit (MgCO_3), dolomit ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$), karnalit ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dan juga terdapat di air laut (G. Neite, dkk, 2005). Magnesium adalah mineral yang paling berlimpah terlarut ketiga di dalam air laut (1.1 Kg/m^3). Magnesium merupakan material yang paling ringan dari semua logam. Memiliki densitas 1.74 g/cm^3 , kira-kira seperempat kepadatan baja dan dua-pertiga dari aluminium (W.D Calister, 2003). Magnesium memiliki densitas yang rendah dan secara spesifik memiliki sifat mekanik yang tinggi. Sehingga material yang berbasis material ringan banyak sekali di aplikasikan untuk kebutuhan sehari-hari.

Tabel 2.2 Densitas Material Struktur Secara Umum

Material	Densitas (g/cm^3)
Baja (Besi cor)	7.2
Titanium	4.51
Aluminium	2.71
Magnesium	1.74
Struktur Plastik	1.0-1.7

Magnesium murni tidak dapat digunakan sebagai bahan untuk material struktural karena memiliki sifat yang tidak begitu bagus hal ini dikarenakan magnesium memiliki kekerasan brinnel 32



HB dan *yield strength* 21 Mpa. Maka dari itu untuk bisa digunakan sebagai komponen structural, magnesium perlu memiliki kekuatan dan keuletan yang cukup terhadap beban dinamik maupun beban statis pada temperatur kamar (27°C). Kekuatan dari magnesium dapat dipengaruhi oleh kombinasi mekanisme pengerasan seperti *solid solution hardening* dan pengerasan batas butir. Keuletan magnesium dapat ditingkatkan dengan cara penghalusan batas butir atau bisa disebut *grain refining*. Penguatan dapat diperoleh dengan penambahan titik lebur, dan *castability*. Elemen paduan yang sering digunakan seperti alumunium, seng, mangan, zirconium dan *rare element* (RE) (Enrique Meza Garcia 2010)

Banyak paduan magnesium menunjukkan kemampuan-mesi dan kemampuan proses yang baik, dan bahkan paling rumit pada bagian *die-cast* dapat mudah diproduksi. Aspek lainnya memiliki sifat redam yang baik, yang membuat pengguna paduan ini lebih menarik untuk meningkatkan siklus hidup mesin. Magnesium murni menunjukkan sifat redam lebih tinggi dibandingkan besi cor (M.M Avedesian, 1999), sifat ini sangat bergantung pada perlakuan panas. Memiliki sifat yang sangat baik, magnesium memiliki kelemahan untuk aplikasi paduan pada kemampuan kerja dingin sangat rendah dan ketahanan korosi pada paduan magnesium sangat rendah. Disamping itu magnesium sangat reaktif. Ketika pengecoran, magnesium mengalami pembentukan penyusutan yang tinggi sekitar 4% ketika pemadatan dan juga sekitar 5% selama pendinginan (H. Okamoto, 1998). Penyusutan dengan derajat yang tinggi menyebabkan terjadinya mikroskopis, ketangguhan rendah, dan memiliki sensitivitas tinggi yang tidak bisa dihindarkan.

Memiliki kelemahan yang disebutkan diatas, dapat dilakukan dengan mengupayakan peningkatan paduan magnesium dengan menggunakan berbagai paduan unsur untuk mengurangi



kelemahan pada magnesium dengan pencapaian persipitasi dan solid solution hardening lebih baik. Dengan cara ini, semua kelebihan yang di miliki oleh paduan ini akan terealisasi, sebagai berikut;

- Kekuatan tinggi
- Kemampuan cor yang sangat baik
- Kemampuan mesin yang cukup baik (penggilingan, penggergajian)
- Meningkatkan ketahanan korosi dengan paduan kemurnian yang tinggi
- Dapat didaur ulang secara integrasi

2.1.1 Sifat atom dan struktur Kristal

• Simbol	Mg
• Klasifikasi elemen	Alkali Tanah
• Nomor atom	12
• Berat atom	24,3050
• Volume atom	14,0 cm ³ /mol
• Jari-jari atom	0,160 nm
• Jari-jari ion	0,072 nm
• Orbital electron dalam atom bebas	1s ² , 2s ² , 2p ⁶ , 3s ²
• Elektron per shell	2, 8, 2
• Valensia	2+
• Struktur Kristal	HCP

2.1.2 Sifat Fisik

• Densitas (20°C)	1,738 g/cm ³
• Titik leleh	(650±1)°C
• Titik didih	1090°C



- Koefisien linear pada termal ekspansi

20 – 100°C	$26.1 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
20 – 200°C	$27.1 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
20 – 300°C	$28.0 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
20 – 400°C	$29.0 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
20 – 500°C	$29.9 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- Konduktiv termal (27°C) $156 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- Kapasitas panas (20°C) $1.025 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- Panas laten fusi $360 - 377 \text{ kJ kg}^{-1}$
- Panas laten penguapan $5150-5400 \text{ kJ kg}^{-1}$
- Panas laten sublimasi (25°C) $6113-6238 \text{ kJ kg}^{-1}$
- *Heat of combustion* $24.9-25.2 \text{ MJ kg}^{-1}$
- Koefisien difusi

480°C	$4.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$
551°C	$3.6 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$
627°C	$2.1 \times 10^{-8} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$

2.1.3 Sifat elektrik

- Konduktivitas elektrik $38.6\% \text{ IACS}$
- Resistivitas elektrik

20°C	$44.5 \text{ n}\Omega \text{ m}$
316°C	$92.8 \text{ n}\Omega \text{ m}$
593°C	$139.5 \text{ n}\Omega \text{ m}$

2.2 Aluminium

Aluminium memiliki beberapa kelebihan daripada logam lainnya. Aluminium relatif lebih ringan daripada baja, tembaga, maupun kuningan. Sebagai konduktor listrik dan panas yang baik, Aluminium juga memiliki titik lebur yang rendah, sehingga lebih mudah difabrikasi dibandingkan dengan logam lainnya. Kelebihan lain dari Aluminium adalah tahan korosi yang



disebabkan oleh reaksi dengan Oksigen menghasilkan aluminium oksida (Al_2O_3) yang melekat erat dan rapat pada permukaan aluminium, tetapi karena adanya lapisan oksida ini juga mengakibatkan Aluminium menjadi sukar untuk dilas atau disolder.

Aluminium mempunyai struktur kristal kubus pemusatan sisi (FCC) dengan jari-jari atom sebesar 0,1431 nm. Aluminium murni memiliki kekuatan 49 MPa dan tegangan 700 Mpa. Aluminium memiliki warna perak mengkilap, warnanya berubah menjadi kelabu muda akibat pembentukan oksida apabila diletakkan di udara. Dalam keadaan murni, temperatur leleh aluminium 660°C, untuk temperatur lebur paduannya antara 520 sampai 660°C. Aluminium murni jarang digunakan, sehingga ditambahkan tembaga, mangan, magnesium silisium atau seng untuk mendapatkan kenaikan kekuatan dan kekerasan serta beberapa kebaikan lainnya. Disamping itu serbuk aluminium digunakan sebagai paduan pada material gerak untuk berbagai macam aplikasi dengan nilai panas yang dimilikinya cukup tinggi.



Gambar 2.2 Aluminium

(<http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium>)

Tabel 2.3 Karakteristik Aluminium (W.D Calister, 2003)

Sifat	Nilai
No. Atom	13
Spesific gravity	2,7 gr/cm ³
Melting Point	660°C



Coefficient of Thermal Expansion (20-100°C)	23,86 x 10 ⁶
Modulus elastisitas	2386,67 N/mm ²
Modulus elastisitas geser	795,56 N/mm ²
Densitas	2,7 g.cm ⁻³
Vickers hardness	167 HV

2.3 Yttrium

Yttrium ditemukan oleh J. Gadolin pada tahun 1974 di Universty of Abo,. Umumnya yttrium digunakan dalam bentuk Yttrium (III) oksida yang digunakan sebagai paduan tambahan untuk meningkatkan kekuatan paduan magnesium dan alumunium. Yttrium merupakan material yang lembut dan berwarna silver-metalik serta berkilau. Yttrium murni relative stabil di udara dalam bentuk bongkahan, karena energy pasivasi yang dihasilkan dari pembentukan oksida pelindung (Y_2O_3) pada lapisan permukaannya. Lapisan ini dapat mencapai ketebalan 10 μm ketika yttrium dipanaskan pada temperature 750 °C. sejumlah kecil yttrium (0,1 – 0,2 %) telah digunakan untuk mengurangi butiran dari Cr, Mo, Ti, dan Zr. Yttrium juga digunakan untuk meningkatkan kekuatan pada paduan aluminium dan magnesium. Penambahan dari yttrium pada paduan umumnya meningkatkan kemampuan kerja, menambah ketahanan terhadap temperature tinggi dan secara signifikan meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi temperature tinggi.



Gambar 2.3 Yttrium
(<http://en.wikipedia.org/wiki/Yttrium>)

Tabel 2.4 Karakteristik Yttrium (W.D Calister, 2003)

Sifat	Nilai
No. Atom	39
Melting Point	1526 °C
Modulus elastisitas	63.500 N/mm ²
Modulus elastisitas geser	41.200 N/mm ²
Densitas	4,47 g.cm ⁻³
Brinell hardness	1589 HB

2.4 Pengertian Paduan

Paduan adalah salah satu proses pemaduan material metal (logam) yang dapat diaplikasikan pada temperatur tinggi. Dalam pemaduan beberapa material ini ada 3 klasifikasi temperatur yang digunakan, yaitu (1) Temperatur dingin (*cold*) yaitu dikerjakan pada temperatur ≤ 350 °C, (2) Temperatur hangat (*warm*) yang dikerjakan pada temperatur 350 – 750 °C, dan (3) Temperatur tinggi (*hot*) yang dikerjakan pada temperatur ≥ 750 °C. Mengapa proses paduan ini diaplikasikan pada material yang dapat bertahan di temperatur tinggi, hal ini dikarenakan ada beberapa alasan yaitu dibutuhkannya material paduan yang dapat mengefisiensikan *heat engine* atau disebut proses pembakaran.



Hal lainnya yaitu untuk ketahanan pada beberapa proses, diantaranya proses kimia (kenaikan temperature, kecepatan laju korosi), mekanik (beban, gaya atau momen), dan beberapa proses lainnya. (Prof. Sulistjiono, 2014)

2.4.1 Paduan Magnesium

Magnesium adalah logam yang ringan dan memiliki karakteristik meredam getaran yang baik. Paduan ini sering digunakan dalam aplikasi structural dan non-struktural dimana berat sangat diutamakan. Karena magnesium tidak cukup kuat dalam bentuk yang murni, magnesium sering dipadukan dengan berbagai elemen untuk mendapatkan sifat khusus tertentu, terutama kekuatan rasio berat yang tinggi. Sifat-sifat mekanik magnesium, terutama kekuatan tarik memiliki nilai yang sangat rendah. Oleh karena itu magnesium murni jarang digunakan untuk aplikasi ini. Paduan magnesium pada umumnya memiliki sifat-sifat mekanik yang lebih baik serta unsur-unsur yang banyak digunakan pada paduan dasar magnesium adalah alumunium, seng dan mangan.

Pada paduan *magnesium-aluminum-manganese with and without zinc* (AM dan AZ). Pada pengecoran menggunakan metode *sand casting* dan *permanent mold casting* paduan magnesium yang mengandung aluminium sebagai bahan paduan utama (AM100A, AZ63A, AZ81A, AZ91C, AZ91E, dan AZ92A) menunjukkkn *castability*, *ductility* dan kekuatan yang baik pada temperature 120° C. Dalam salah satu paduan magnesium-alumunium-seng, peningkatan kadar alumunium dapat meningkatkan nilai kekuatan luluh tetapi mengurangi nilai keuletannya untuk pengerjaan panas. Pada paduan *magnesium-yttrium-rare earth-zirconium* (WE). WE 54 dan WE 43 memiliki



kekuatan tarik yang tinggi dan menghasilkan kekuatan, dan menunjukkan sifat yang baik di temperature 300° C dan 250° C. Pada paduan WE54, paduan ini dapat mempertahankan sifat-sifatnya pada temperature tinggi hingga 1000 jam., sedangkan WE43 dapat mempertahankan sifat-sifatnya pada temperature tinggi hingga 5000 jam. Kedua paduan ini memiliki *castability* yang baik dan *weldability* yang baik pula, tetapi kedua paduan ini butuh perlakuan khusus untuk mengoptimalkan sifat mekaniknya. Kedua paduan ini memiliki tahan korosi yang baik dengan laju korosi yang sama dengan paduan aluminium pada umumnya. Pada dasarnya paduan ini jarang digunakan untuk banyak aplikasi, hal ini dikarenakan mahalanya unsur yttrium itu sendiri (ASM Handbook Vol 2, 2002). Mengidentifikasi paduan magnesium menggunakan standar ASTM, masing-masing paduan ditandai dengan huruf yang menunjukkan elemen paduan utama dan diikuti dengan presentase berat unsur paduan. Pada table 1.4 menunjukkan symbol huruf pada setiap unsur paduan

Tabel 2.5 Kode ASTM pada unsur paduan magnesium

Huruf Singkatan	Unsur Paduan	Huruf Singkatan	Unsur Paduan
A	Aluminium	N	Nikel
B	Bismuth	P	Lead
C	Tembaga	Q	Perak
D	Kalsium	R	Krom
E	Tanah jarang	S	Silicon
F	Besi	T	Timah
H	Thorium	W	Yttrium
K	Zirconium	Y	Antimony
L	Litium	Z	Zink
M	Mangan		

**Tabel. 2.6** Efek unsur-unsur pada paduan magnesium

Unsur	Efek
Aluminium	Penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan. Hal ini juga meningkatkan kemampuan cor (system eutektik, $T_E = 437^\circ\text{C}$). Paduan lebih dari 6% berat aluminium dapat dipanaskan.
Berilium	Berilium hanya digunakan untuk leleh dengan jumlah yang kecil (<30 ppm). Tambahan unsur dapat mengurangi permukaan leleh oksidasi secara signifikan selama pengecoran, pelelehan, dan proses pengelasan. Dapat juga menghasilkan pengkasaran butir.
Kalsium	Kalsium memiliki efek positif pada ketahanan <i>creep</i> dan penghalusan butir (<i>grain refinement</i>). Ketika kalsium digabungkan melalui pengecoran paduan dapat mengurangi leleh oksidasi dan juga oksidasi selama proses <i>heat treatment</i> . Disisi lain, kalsium (0.3 wt%) dapat menyebabkan pelekatan pada alat selama pengecoran dan <i>hot cracking</i> .
Cerium	Tambahan cerium dapat meningkatkan <i>elongation</i> secara signifikan.
Tembaga	Dapat meningkatkan temperature kamar dan kekuatan pada temperature tinggi. Dapat mengurangi ketahanan korosi.
Litium	Secara relatife memiliki kelarutan padat yang tinggi, mengurang densitas, dan meningkatkan keuletan. Bagaimanapun, litium memiliki efek negative yang sangat kuat yaitu dapat membakar dan sifat penguapan pada saat terjadi leleh.
Mangan	Diatas 1.5 berat% mangan, meningkatkan

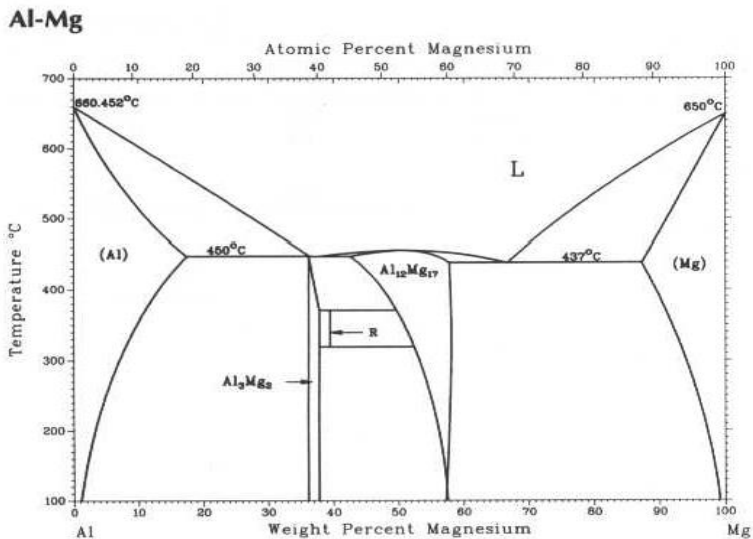


	kekuatan tarik. Unsur ini, dapat meningkatkan ketahanan korosi terutama di air garam.
Tanah Jarang	Dapat meningkatkan kekuatan temperature tinggi, ketahanan <i>creep</i> dan ketahanan korosi
Silikon	Kemampuan cor yang rendah, tetapi ketahanan <i>creep</i> dapat ditingkatkan dengan pembentukan <i>stable silazide</i> .
Perak	Unsur ini digunakan sebagai penghubung tanah jarak yang dapat meningkatkan kekuatan temperature tinggi dan ketahanan mulur.
Thorium	Penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekuatan mulur diatas 370°C. Pada paduan yang mengandung zink, unsur thorium dapat meningkatkan kemampuan pengelasan Unsur ini termasuk radiaktif.
Timah	Timah bersama aluminium di dalam paduan magnesium dapat meningkatkan keuletan.
Yttrium	Unsur ini memiliki <i>solid solubility</i> yang tinggi di magnesium. Dapat meningkatkan kekuatan temperature tinggi dan ketahanan mulur.
Zink	Unsur sebagai penghubung aluminium untuk meningkatkan kekuatan tanpa adanya pengurangan keuletan. Penambahan di atas 3% Zn, penyusutan dapat di kompensasi dan kekuatan tarik meningkat.
Zirkonium	Penambahan unsur ini mempengaruhi peningkatan kekuatan tarik tanpa pengurangan keuletan, karena adanya afinitas oksigen.



2.4.2 Paduan Mg Al Y

Dalam penelitian ini yang akan di bahas adalah unsur magnesium (Mg) sebagai dasar paduan yang di padukan dengan unsur aluminium (Al) dan yttrium (Y). Dibawah ini adalah diagram fasa Al-Mg yang menjadi dasar acuan pada penelitian ini.



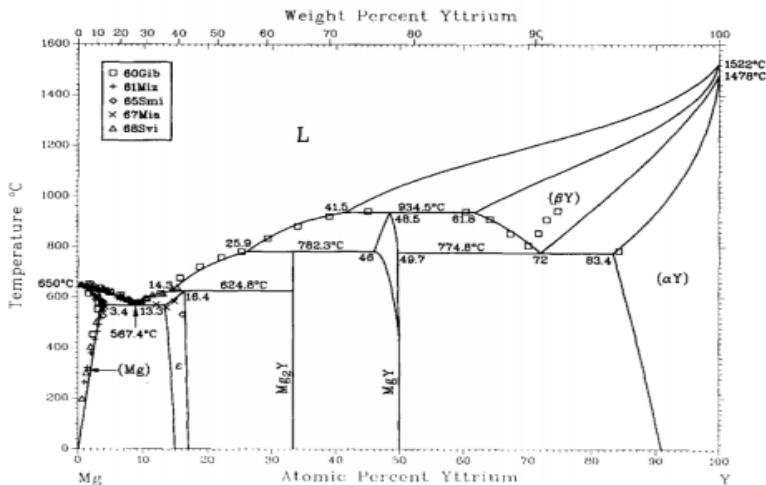
Gambar 2.4 Diagram fasa Al-Mg

2.5 Peran Yttrium pada Paduan Magnesium

Paduan logam dengan penambahan elemen yttrium menunjukkan adanya penambahan kekuatan yang sangat tinggi pada saat berada di temperatur kamar (27 °C). Pada paduan Mg penambahan elemen yttrium juga dapat menambahkan kekuatan yang sangat tinggi dibandingkan elemen lainnya seperti cerium, lanthanum, praseodymium, thorium, dan neodymium (LL

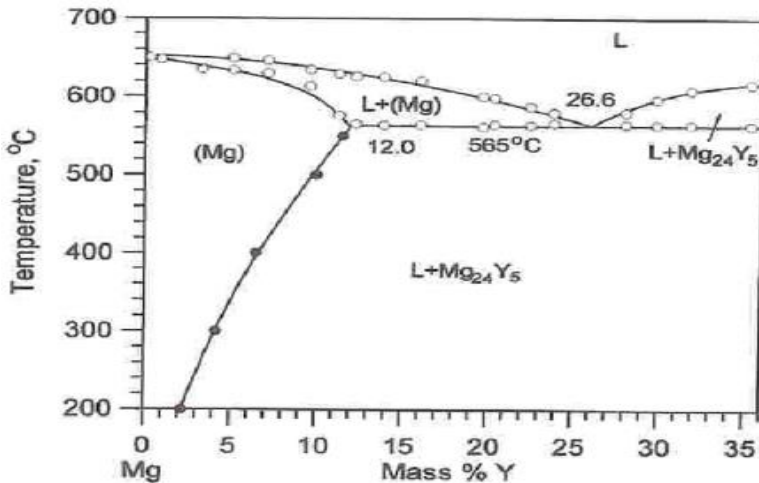


Rokhlin, 2003). Paduan magnesium dan yttrium merupakan paduan yang mempunyai tingkat kesulitan saat memaduhkannya. Hal ini dikarenakan temperatur leleh dari yttrium sendiri sangat tinggi, yaitu 1522°C . Sedangkan temperatur leleh dari magnesium sendiri hanya 650°C . Akan tetapi dengan menambahkan unsur yttrium maka akan meningkatkan sifat tahan pada temperatur. Biasanya paduan Mg-Y tahan pada temperatur diatas 300°C . Pada diagram fasa Mg-Y menunjukkan kelarutan yttrium berkurang seiring bertambahnya temperatur.



Gambar 2.5 Diagram Fasa Mg-Y

Pada gambar 2.5 diagram Mg-Y diatas terlihat adanya 3 senyawa biner yaitu Mg_{24}Y_5 , Mg_2Y dan MgY . Pada sisi sebelah kiri yang kaya akan Mg pada diagram diatas dapat di perjelas dengan diagram Mg-Y di bawah ini.



Gambar 2.6 Diagram Fasa Mg-Y, batas kelarutan Yttrium pada Mg

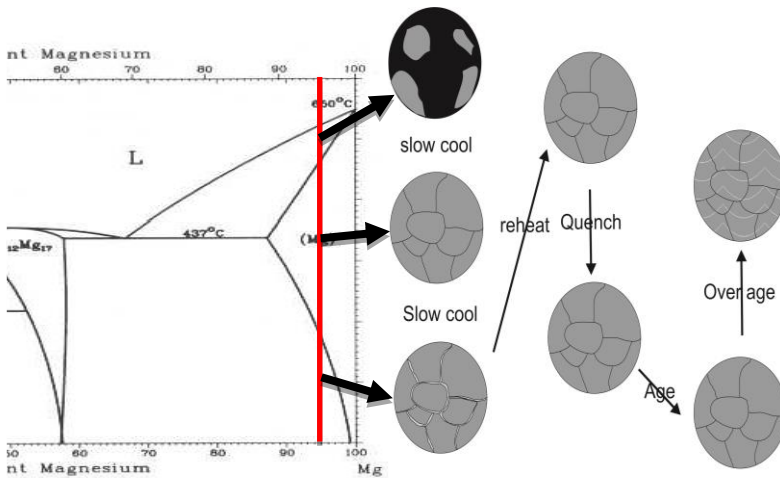
Pada gambar 2.6 ini terlihat bahwa keluran yttrium pada Mg larut dalam temperatur eutektik 650 °C data ini telah di teliti dari hasil penelitian Baikov Institut Metalurgi (LL Rokhlin, 2003). Dan seiring banyaknya komposisi yttrium dalam Mg (26,6%) maka kelarutan yttrium pada Mg akan menurun seiring dengan menurunnya temperatur 565 °C.

2.6 Pengerasan Persipitasi

Pengerasan presipitasi (*precipitation hardening*) atau yang biasa disebut *age hardening* merupakan pengerasan dengan perlakuan panas yang sering dilakukan terhadap paduan logam *non-ferrous*. *Heat treatment* seperti ini hanya dapat dilakukan pada paduan yang memiliki diagram fasa yang menunjukkan



kelarutan padat terbatas. Dimana dengan hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Proses Persipitasi *Hardening* Mg-Al

Dari Gambar 2.7 dapat dijelaskan bahwa paduan yang dapat melakukan *heat treatment* ini adalah paduan dimana proses pemanasan dan pendinginannya melalui garis solvus. Sehingga dari Gambar 2.7 dapat dikatakan bahwa pada diagram fasa di Gambar 2.7 memiliki paduan dengan komposisi Mg-5%Al. Dalam proses *precipitation hardening* terdapat dua tahapan. Dimana tahapan tersebut adalah solution treatment (perlakuan pelarutan) dan aging (penuaan).

Dari Gambar 2.7 apabila didinginkan secara lambat akan memiliki strukturmikro yang terdiri dari α primer dan β sekunder. Sehingga paduan ini memiliki sifat yang lunak. Dalam proses *precipitation hardening* terdapat tahap awal yaitu tahap solution treatment. Dimana cara ini dilakukan pada paduan untuk dipanaskan kembali sampai di atas garis solvus. Sehingga



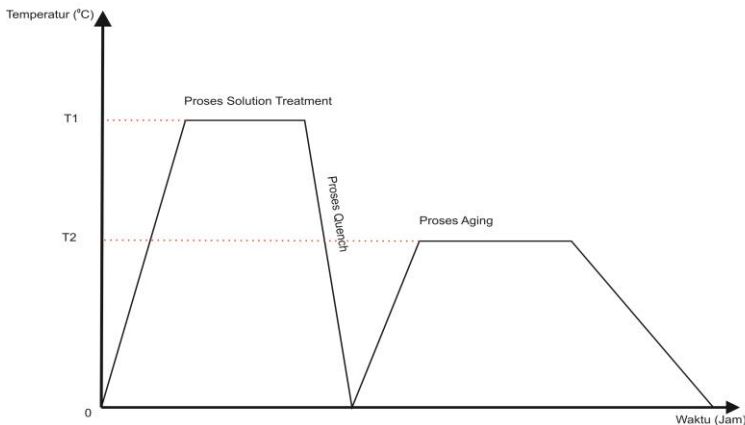
paduan memiliki fasa α saja. Hal ini terjadi karena paduan memiliki energi kembali agar fasa β larut kembali. Setelah dipanaskan kembali, maka paduan didinginkan dengan cepat (*quench*). Dengan cara pendinginan cepat ini maka fasa β pada paduan ini tidak akan terbentuk. Hal ini dikarenakan pada pendinginan cepat fasa β tidak memiliki waktu untuk membentuk kembali fasanya. Sehingga fasanya tidak keluar dan hanya terdapat fasa α saja. Dari gambar hasil *quench* maka dapat dilihat bahwa struktur dari paduan ini adalah larutan padat α lewat jenuh. Akan tetapi pada kondisi seperti ini paduan masih memiliki sifat lunak. Hal ini terjadi karena paduan mengalami tegangan yang cukup besar (akibat proses *quench*). Akibatnya paduan memiliki kemampuan untuk mengalami distorsi.

Larutan padat lewat jenuh ini tidak stabil. Hal ini dikarenakan kelebihan atom terlarut yang cenderung akan keluar (berpresipitasi) dari larutan. Dalam beberapa paduan yang pada saat temperatur kamar akan mengalami presipitasi. Akan tetapi proses yang dialaminya begitu lama. Bahkan pada beberapa paduan tidak mengalaminya sama sekali. Sedangkan pada temperatur tinggi, proses presipitasi berlangsung cepat. Proses presipitasi memerlukan waktu, *aging* (penuaan). Proses *aging* pada temperatur kamar biasa disebut dengan *natural aging* (penuaan alamiah.). Sedangkan proses *aging* pada temperatur tinggi dinamakan *artificial aging* (penuaan buatan).

Pada Gambar 2.8 dapat dijelaskan bahwa selama proses *aging* bertahap terjadi presipitasi. Atom terlarut yang berlebih ini akan keluar dari larutan padat (lewat jenuh) membentuk presipitat halus yang berukuran *sub-microscopic*. Sehingga betuknya tidak tampak dalam mikroskop optik. Presipitat ini tidak mengumpul



pada batas butir. Akan tetapi tersebar merata didalam kristal fasa pelarut.



Gambar 2.8 Skema proses *Aging*

2.7 Aplikasi Paduan Magnesium

Magnesium merupakan paduan yang banyak sekali aplikasinya. Hal ini dikarenakan paduan ini merupakan paduan logam ringan. Magnesium merupakan material yang mempunyai aplikasi sebagai material *aerospace*, *automotive* dan *structural*. Dalam hal otomotif, magnesium merupakan material yang bagus untuk digunakan. Paduan magneium bisa digunakan dalam bidang otomotif sebagai material untuk *interior*, *body*, *chassis* dan power train. Berikut merupakan tabel aplikasi magnesium dalam hal *automobiles*.



Tabel 2.7 aplikasi magnesium secara global dalam hal *automobiles*

System	Component	North America	Europe	Asia
Interior	Instrument panel	Yes	Yes	Yes
	Knee bolster retainer	Yes		
	Seat frame	Yes	Yes	Yes
	Seat riser	Yes	Yes	Yes
	Seat pan	Yes	Yes	
	Console bracket	Yes		
	Airbag housing	Yes		
	Center console cover		Yes	
	Steering wheel	Yes	Yes	Yes
	Keylock housing	Yes		
	Steering column parts	Yes	Yes	Yes
	Radio housing	Yes		
	Glove box door	Yes		
	Window motor housing	Yes	Yes	
Body	Door frame		Yes	
	Liftgate	Yes	Yes	
	Roof frame	Yes	Yes	
	Sunroof panel	Yes	Yes	
	Mirror bracket	Yes	Yes	
	Fuel filler lid		Yes	
	Door handle		Yes	Yes
	Spare tire carrier	Yes		
Chassis	Wheel (racing)	Yes	Yes	Yes
	ABS mounting bracket	Yes		
	Brake pedal bracket	Yes		Yes
	Brake/accelerator bracket	Yes		
	Brake/clutch bracket	Yes		
	Brake pedal arm	Yes		
Powertrain	Engine block		Yes	
	Valve cover/cam cover	Yes	Yes	Yes
	4WD transfer case	Yes		
	Transmission case		Yes	Yes
	Clutch housing and piston	Yes		
	Intake manifold	Yes	Yes	
	Engine oil pan		Yes	Yes
	Alternator/AC bracket	Yes		
	Transmission stator	Yes		
	Oil filter adapter	Yes		Yes
	Electric motor housing	Yes		



Dari table 2.7 diatas maka dapat diketahui bahwa paduan magnesium memiliki berbagai aplikasi dalam hal otomotif. Misalkan dalam hal *power train*, magnesium dapat diaplikasikan sebagai *engine block*, *valve*, *transmission case* dan lain-lain. Padahal pada umumnya aplikasi *power train* terbuat dari material paduan aluminium. Akan tetapi saat ini paduan magnesium telah digunakan berbagai produsen untuk pengganti paduan aluminium.

2.7.1 Persyaratan Alumunium untuk Aplikasi *Engine Blocks*

Penerapan alumunium dan paduannya untuk blok mesin sering menimbulkan tantangan tertentu, khususnya yang berkaitan dengan mesin diesel. Konsep perbautan (*bolting consep*) sangat membantu untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan dari kepala silinder dan bantalan utama. Di sisi lain, blok mesin dari bahan aluminium serta paduannya memiliki manfaat tidak hanya dari *density* yang rendah namun juga dari segi modulus elastisitas yang tinggi dan konduktifitas panas yang sangat baik.

2.7.1.1 Konduktifitas Thermal

Blok mesin aluminium modern, konduktifitas dari crank-shft bearing adalah 150 °C dan untuk daerah antar-bore bisa mencapai temperatur 200 °C. konduktifitas termal yang tinggi dari paduan aluminium cor menjamin pembuangan panas yang efisien hingga ke dalam bagian pendinginan

2.7.1.2 Kekuatan pada Temperatur Tinggi

Paduan aluminium memiliki kekuatan yang cukup statis hingga mencapai temperatur 150 °C (temperatur oli) hal ini sangat diperlukan terutama ketika adanya



pembebanan yang berasal dari rotasi crank-shaft untuk menahan kekuatan tersebut di daerah *head bolts* dan *bearing saddles*.

2.7.1.3 Kekuatan / Kekerasan pada Temperatur Kamar

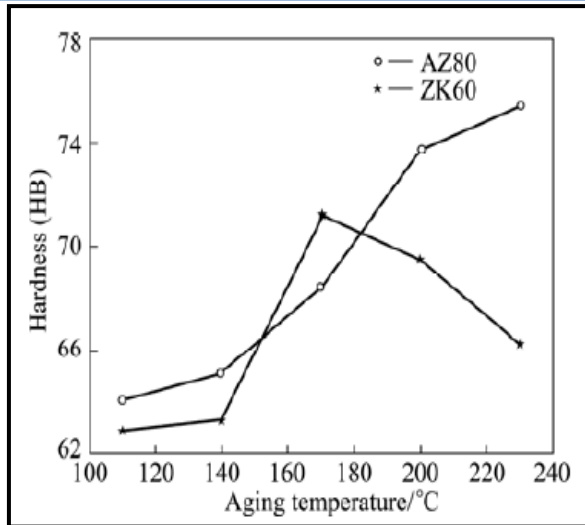
Kekuatan dan kekerasan pada temperatur kamar sangat diperlukan pada paduan aluminium untuk memastikan *machinability* yang baik (tergantung dari parameter mesin) dan ketika akan dilakukan perakitan

2.7.1.4 Kekuatan Kelelahan Selama Operasi Mesin

Kekuatan kelelahan selama operasi mesin sangat dibutuhkan karena selama beroperasi blok mesin akan terus menerus mengalami tegangan tarik siklik, dimulai dari temperatur 0 °C (musim dingin) hingga mencapai temperatur oli (150 °C). Oleh karena itu karakteristik bahan yang paling penting untuk mendesain blok mesin.

2.8 Penelitian sebelumnya

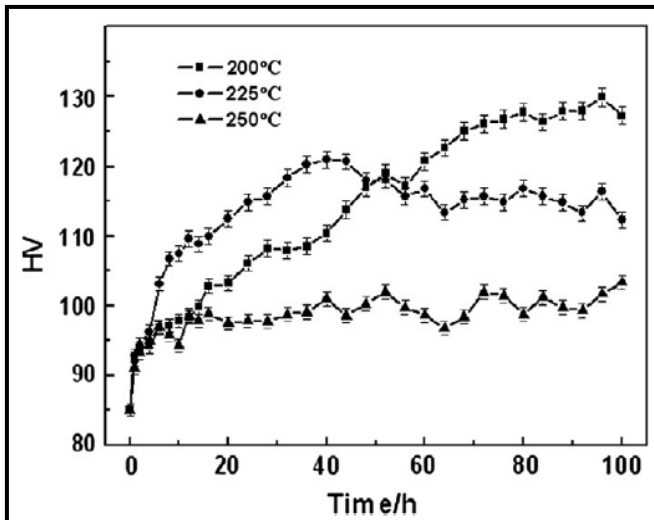
LI Yan, dkk, 2010 yang meneliti tentang pengaruh *aging* pada struktu mikro dan sifat mekanik dari AZ80 dan ZK60. Paduan AZ80 diberikan perlakuan panas temperatur 420 °C selama 5 jam dan paduan ZK60 diberikan perlakuan panas temperatur 500 °C selama 2 jam. Setelah proses perlakuan panas, selanjutnya dilakukan proses *aging* dalam 6 kelompok yaitu 110 °C, 140 °C, 170 °C, 200 °C, dan 230 °C. Maka didapatkan hasil *hardness* dari AZ80 dan ZK60 seperti gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.9 Efek temperatur *aging* terhadap nilai kekerasan pada paduan AZ80 dan ZK60

Pada gambar 2.9 terlihat bahwa puncak kekerasan dari paduan AZ80 adalah ketika diberikan temperatur *aging* 230°C, namun berbeda pada paduan ZK60 puncak kekerasan tertinggi adalah ketika diberikan temperatur *aging* 170°C dan ketika diberikan temperatur diatas 170 °C maka nilai kekerasannya menurun.

Minglong Ma, dkk, 2013 yang meneliti tentang pengaruh *solution* dan *aging* pada struktur mikro dan sifat mekanik cacat kompleks paduan WE93. Komposisi dari WE93 adalah Mg-9Y-3MM dan 0,6Zr. Proses *solution treatment* dilakukan pada temperatur 460°C dan 505°C waktu *holding* terlama adalah 24 jam. Temperatur setelah *solution treatment* 200°C, 225°C dan 250°C dan waktu *holding* terlama adalah 100 jam.

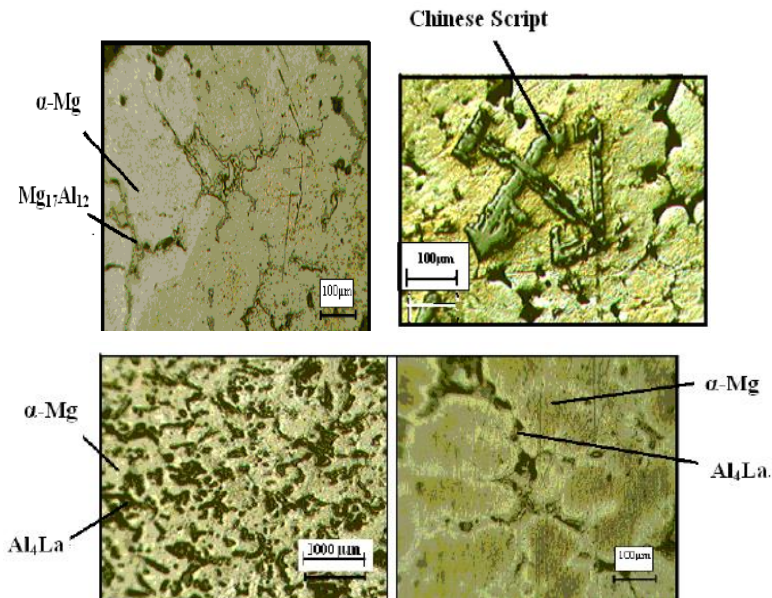


Gambar 2.10 Efek temperatur *aging* dan waktu *holding* terhadap nilai kekerasan pada paduan WE90

Gambar 2.10 menunjukkan kurva kekerasan dari paduan WE90 setelah proses *aging*. pada temperatur 200°C kurva kekerasan terus meningkat seiring berjalannya waktu *holding* hingga 100 jam. Namun pada saat temperatur 225°C menunjukkan penurunan ketika waktu yang diberikan lebih dari 40 jam, hal ini kemudian stabil hingga waktu yang diberikan 100 jam. Pada temperatur 250°C efek pengerasan berlangsung cepat dan tanpa ada puncak yang jelas. Namun terlihat bahwa ketika waktu yang berikan lebih dari 10 jam nilai kekerasannya menurun dan terjadi kenaikan puncak kembali ketika waktu yang diberikan diatas 10 jam.

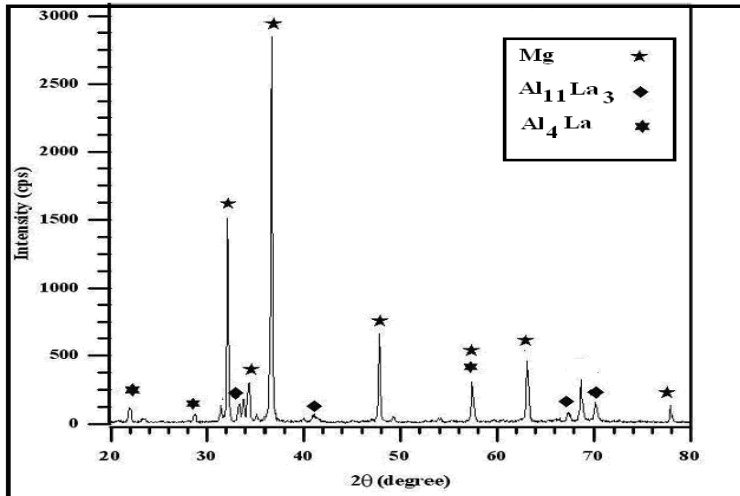


Ahmed A. Moosa, 2011 meneliti efek dari penambahan Lanthanum terhadap struktur mikro paduan Mg-4Al. Dalam penelitiannya paduan yang digunakan Mg 4Al 1,5 La. Pada proses pembuatan *raw material* di panaskan pada temperatur 900 °C dengan dialirkan gas argon 1,5L/menit. Dari hasil pembuatan *raw material* didapatkan hasil struktur mikro pada gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.11 Hasil struktur mikro paduan Mg 4Al 1,5La menggunakan larutan etsa (75mL glycol + 24mL H₂O + 1mL HNO₃)

Dalam penelitiannya juga menjelaskan fasa-fasa yang terbentuk pada paduan Mg-4Al seperti hasil dari XRD dan tabel 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.12 Hasil X-Ray Diffraction dari paduan Mg 4Al 1,5La

Tabel 2.8 Efek penambahan unsur *Rare Earth* pada fasa di dalam paduan Mg 4Al

Alloy		Phases	Reference
AE42	Mg-4Al -2RE	Mg, Al ₁₁ La ₃	Sun et al. [Ref. 12]
AZL2	Mg-9Al-0.7Zn-2L	Mg, Mg ₁₇ Al ₁₂ , Al ₁₁ La ₃ , Al ₈ LaMn ₄	Fan et.al. [Ref 11]
AE42	Mg-4Al -2RE	Mg, Al ₁₁ RE ₃ , Al ₂ RE	Powell et al. [Ref. 1]
AE42	Mg-4Al -2RE	Mg, Mg ₁₇ Al ₁₂	Rzychoń et al. [Ref.9]
AE44	Mg-4Al -4RE	Mg, Al ₁₁ RE ₃ , Al ₃ RE	Rzychoń et al [Ref.9]
	Mg-5.5Al -1Ce	Mg, Mg ₁₇ Al ₁₂ , Al ₄ Ce	Zhou et al.[ref 10]
AE44	Mg-4Al -4La	Mg, Al ₁₁ La ₃	Zhang et al.[Ref 13]
AE44	Mg-4Al -4Ce	Mg, Al ₁₁ Ce ₃ , Al ₂ Ce	Zhang et al.[Ref 13]

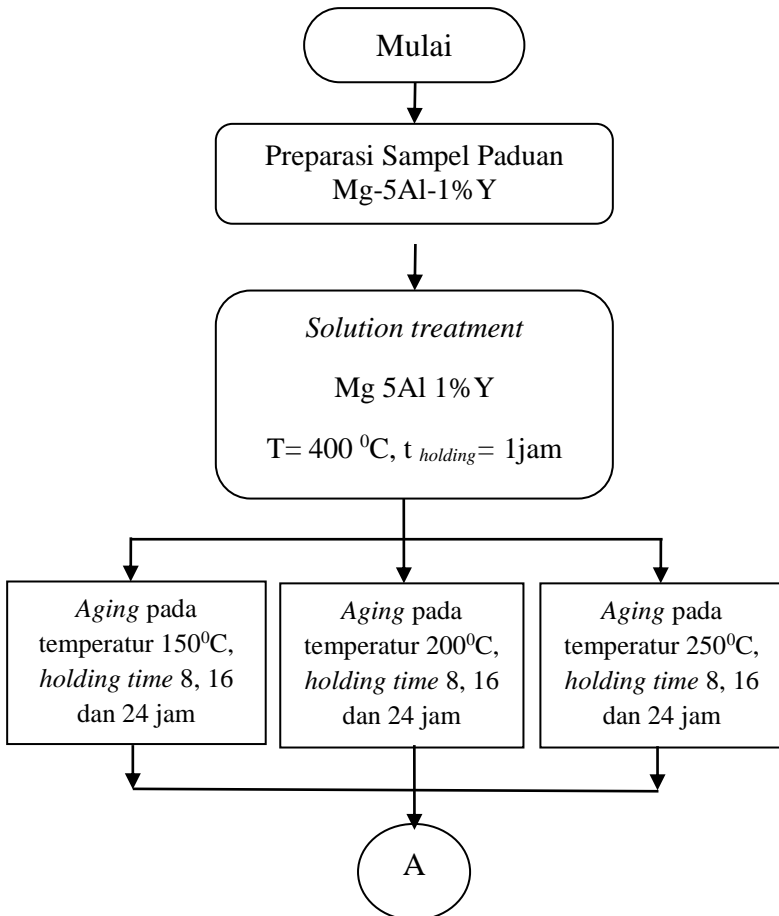


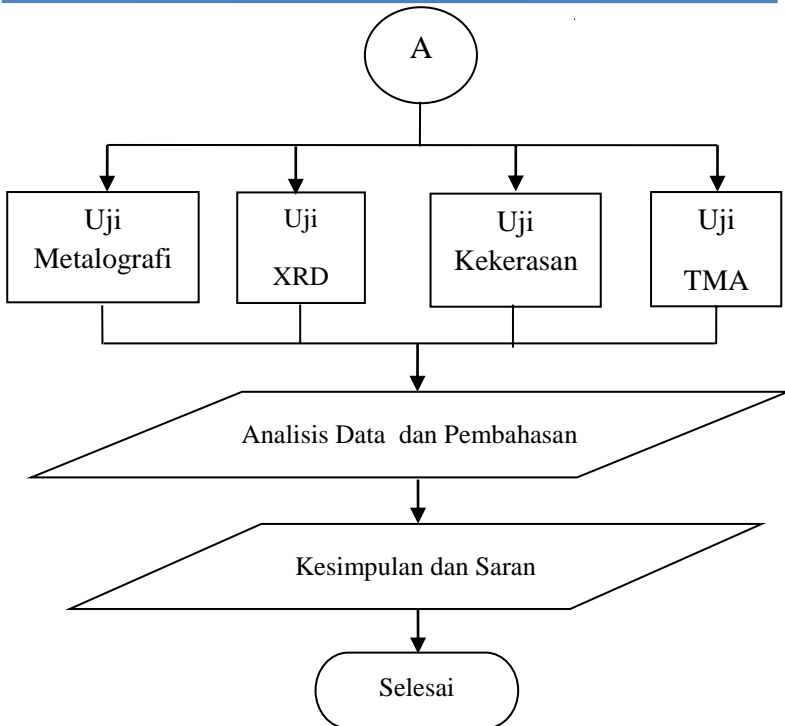
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

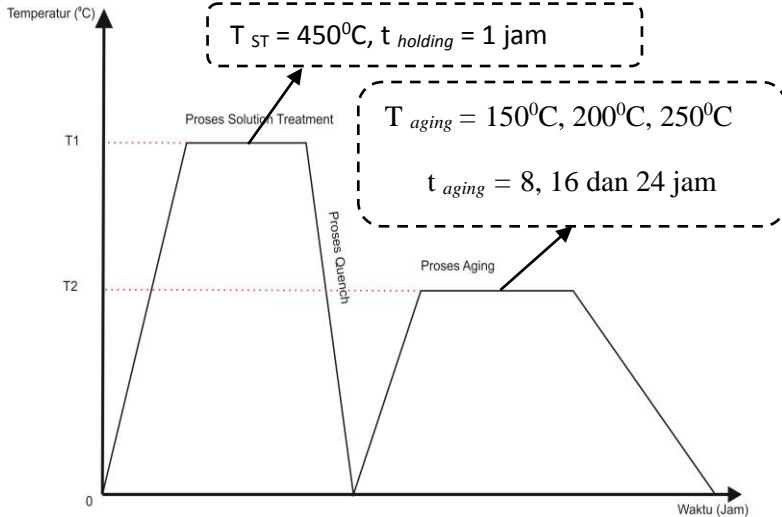
3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1. Pada penelitian ini akan dilakukan *precipitation hardening* paduan Mg-5Al-1% Y.





Gambar 3.1 Flow Cart Metodologi Penelitian



Gambar 3.2 Temperatur solution treatment vs waktu *aging* dan temperatur *aging* untuk persipitasi *Hardening* paduan Mg 5Al 1% Y

3.2 Pelaksanaan Penelitian

Proses preparasi paduan Mg 5Al 1% Y diawali dengan proses pencampuran magnesium, aluminium dan yttrium dengan komposisi 94% magnesium, 5% aluminium dan 1% yttrium kemudian diletakkan ke dalam krusibel keramik untuk dilakukan proses *conventional melting* dengan temperatur 720°C dan waktu holding 1 jam serta dialiri gas argon selama proses *conventional melting* untuk mencegah terjadinya oksidasi. Dalam proses *conventional melting* tidak dilakukan pengadukan, hal ini dikarenakan pada saat proses *conventional melting* krusibel keramik diletakkan dalam kotak *stainless steel* dan di tutup rapat.



(a)



(b)

Gambar 3.3 Hasil *conventional melting* Mg 5Al 1%Y (a) hasil *conventional melting* Mg 5Al 1%Y yang telah dilakukan proses *aging* 150 °C, 200 °C, dan 250 °C dengan waktu *holding* 8 jam, 16 jam dan 24 jam

Proses selanjutnya adalah memberikan perlakuan *solution treatment* pada paduan Mg 5Al 1%Y dengan menggunakan temperatur 400 °C dengan waktu *holding* 1 jam dan dialiri gas argon selama proses *solution treatment*, proses *solution treatment* ini bertujuan agar fasa yang terbentuk adalah fasa α -Mg. Setelah itu dilakukan proses *quench* menggunakan air.

Pada proses *aging* dilakukan pada 2 alat yaitu furnace dan oven. Untuk oven dilakukan proses *aging* dengan temperatur 150 °C dengan waktu *holding* 8 jam, 16 jam dan 24 jam kemudian di dinginkan di dalam oven. Sedangkan untuk temperatur 200 °C dan 250 °C dengan waktu *holding* 8 jam, 16 jam dan 24 jam dilakukan di dalam furnace, proses pendinginan dilakukan di dalam furnace.



3.3 Bahan Penelitian dan Peralatan Penelitian

3.3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Magnesium

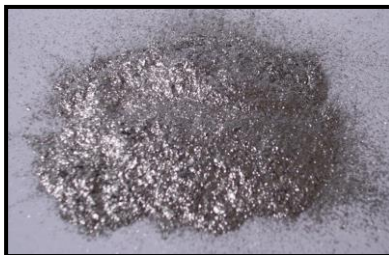
Dalam penelitian ini magnesium yang digunakan adalah magnesium yang berupa bongkahan dengan kadar magnesium 90%



Gambar 3.4 Magnesium

2. Aluminium

Dalam penelitian ini aluminium yang digunakan adalah aluminium yang berbentuk serbuk dengan kadar 90%



Gambar 3.5 Serbuk Aluminium



3. Yttrium

Dalam penelitian ini yttrium yang digunakan adalah yttrium yang berbentuk serbuk

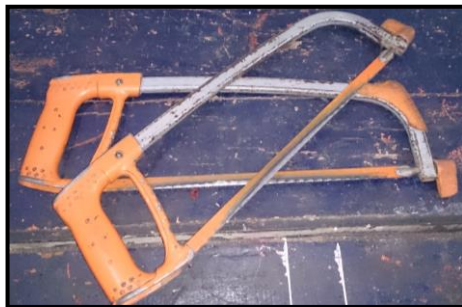


Gambar 3.6 Serbuk Yttrium

3.3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Gergaji besi
Gambar 3.7 menunjukkan gergaji besi yang digunakan untuk memotong magnesium dan hasil *conventional melting*.



Gambar 3.7 Gergaji Besi



2. Timbangan Digital

Gambar 3.8 menunjukkan timbangan digital yang digunakan untuk mengukur massa dari serbuk aluminium dan yttrium



Gambar 3.8Timbangan Digital

3. Tungku

Gambar 3.9 menunjukkan tungku yang telah dimodifikasi agar tungku bisa dialirkan gas argon



Gambar 3.9 Tungku Modifikasi



4. Cawan keramik

Gamabar 3.10 menunjukkan cawan (*crucible*) keramik yang digunakan sebagai wadah material untuk proses *conventional melting*.



Gambar 3.10 Cawan Keramik

5. Furnace

Gambar 3.11 menunjukkan furnace yang di gunakan untuk proses *aging* temperatur 200 °C dan 250 °C.



Gambar 3.11 Furnace



6. Oven

Gambar 3.12 menunjukkan oven yang digunakan untuk proses *aging* temperatur 150 °C



Gambar 3.12 Oven

7. Mesin Uji Hardness

Gambar 3.13 menunjukkan salah satu alat uji hardness dengan metode brinell. Mesin uji hardness digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari sampel.



Gambar 3.13 Alat Uji Hardness



8. Mesin Uji XRD
Digunakan untuk mengetahui fasa dan senyawa yang terbentuk dari sampel.



Gambar 3.14 Alat Uji *X-ray Diffraction*

9. Mesin Uji TMA
Digunakan untuk mengetahui



(a)



(b)

Gambar 3.15 Alat uji TMA (a) mesin *warming up* (b)



10. Mesin Uji Metalografi

Digunakan untuk mengetahui strukturmikro dari sampel uji.



Gamabr 3.16 Alat Uji Metalografi

3.4 Variabel Penelitian

Variable penelitian ini adalah pengaruh temperatur dan waktu holding pada paduan Mg-5Al-1%Y. Temperatur yang digunakan adalah 150°C, 200°C dan 250°C. Sedangkan waktu holding yang digunakan adalah 8 jam, 16 jam dan 24 jam.

3.5 Pengujian

3.5.1 Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan di Laboratorium Material Manufaktur Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dengan sampel berbentuk padatan. Metalografi adalah salah satu pengujian yang bertujuan untuk melihat perubahan *structuremicro* dari suatu sampel yang telah



dilakukan proses perlakuan dan sebelum dilakukan proses perlakuan panas.

Adapun secara garis besar langkah-langkah yang dilakukan pada metalografi adalah:

1. Pemotongan spesimen (*sectioning*)
2. Pembikaian (*mounting*)
3. Penggerindaan dan pemolesan (*grinding, polishing*)
4. Pengetsaan (*etching*)
5. Observasi pada mikroskop optic

Untuk melakukan pengetsaan pada magnesium, maka larutan yang digunakan adalah Larutan etsa ASTM E-407 (4 mL picric acid, 96 mL ethanol atau methanol)

3.5.2 Hardness

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Material Manufaktur Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dengan sampel berbentuk padatan. Pengujian kekerasan (*hardness*) digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu material akibat adanya pembebanan. Pada penelitian ini metode dari pengujian *hardness* adalah metode *brinell*. Metode *brinell* pembebanannya menggunakan indenter bola baja yang ditekan pada permukaan sampel uji. Dalam penelitian ini indenter yang digunakan berukuran 2,5 mm dengan pembebanan 62,5 kg yang sesuai dengan ASTM E-10 untuk material *non ferrous*.

3.5.3 XRD

Pengujian *X-ray Diffraction* (XRD) menggunakan alat di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dengan sampel berbentuk padatan pipih. Analisa difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada padatan yang telah mengalami proses perlakuan panas. Pengujian ini



dilakukan pada semua benda uji. Langkah – langkah pengujian XRD adalah sebagai berikut:

- Sampel serbuk diletakkan pada holder, agar penembakan dengan XRD sesuai dengan yang diinginkan, maka pengaturan spesimen harus merata pada holder.
- Holder diletakkan ke dalam mesin XRD
- Data akan tampil pada layar komputer

3.5.4 TMA

Pengujian *Thermomechanical analysis* (TMA) dilakukan di Laboratorium Energi ITS dengan bentuk padatan yang berukuran 0,8 mm x 0,8 mm. *Thermomechanical analysis* (TMA) adalah metode yang digunakan untuk mengkarakterisasi perubahan volumetrik dalam suatu sistem material. Perubahan- perubahan ini sering digunakan untuk mengkarakterisasi perubahan keadaan fisik suatu material dan sangat penting untuk berbagai aplikasi. TMA mengukur temperatur deformasi dibawah beban statis. Pada penelitian ini metode TMA yang dipilih adalah metode penarikan dari sisi atas dan sisi bawah. Metode ini dipilih karena untuk mengetahui koefisien panas dari suatu sampel karena adanya penarikan dari kedua sisi. Pada penelitian ini temperatur untuk TMA yang digunakan adalah 200⁰C dengan *temperature rate* 5 ⁰C/menit.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

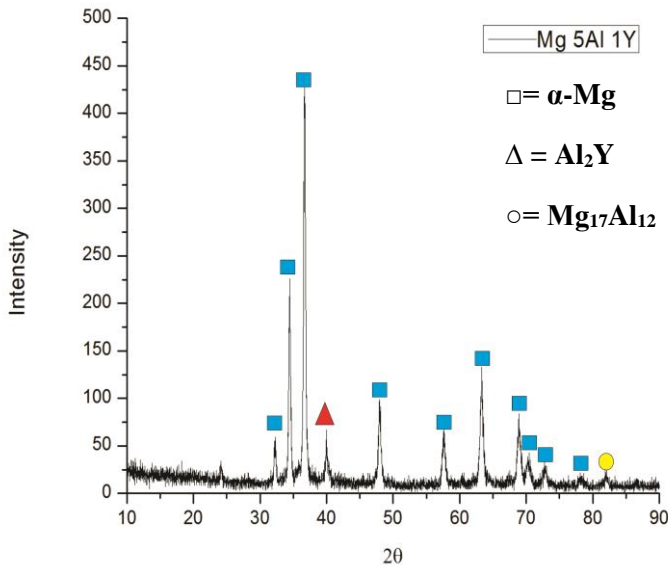
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Hasil Pengujian XRD (*X-ray Diffraction*)

Pengujian XRD dilakukan dengan mengambil sampel hasil perlakuan panas yang berupa padatan kemudian diletakkan di sebuah *holder* untuk selanjutnya diuji dengan menggunakan alat *PAN Analytical*. Pertama yang dilakukan adalah indentifikasi hasil perlakuan panas paduan Mg-5Al-1%Y terhadap hasil pengujian difraksi sinar-X (XRD) untuk mengetahui terbentuknya fasa Al_2Y , fasa $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$, dan fasa $\alpha\text{-Mg}$. Pengujian dilakukan dengan sinar X menggunakan range sudut $10^0 - 90^0$ dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54056 \AA . Identifikasi fasa hasil pengujian XRD pada penelitian ini melalui search match dengan *Software High Score Plus*.

Hasil analisa *X-ray Diffraction* (XRD) paduan Mg-5Al-1%Y tanpa dilakukan proses perlakuan panas (gambar 4.1) menunjukkan adanya fasa $\alpha\text{-Mg}$, fasa Al_2Y dan fasa $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$. Pada hasil *conventional melting* paduan Mg-5Al-1%Y ini terdapat fasa $\alpha\text{-Mg}$ dengan 2θ sesuai dengan CCPDF 01-071-6543 ditunjukkan pada 2θ sebesar 32.3165, 34.4873, 36.6952, 47.9111, 57.5659, 63.3138, 68.8930, 70.3025, 72.8589, dan 77.9367. Fasa Al_2Y dengan 2θ yang sesuai dengan CCPDF 00-029-0103 ditunjukkan pada 2θ sebesar 39.9454. Fasa $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ dengan 2θ yang sesuai dengan CCPDF 01-073-1148 ditunjukkan pada 2θ sebesar 82.0708

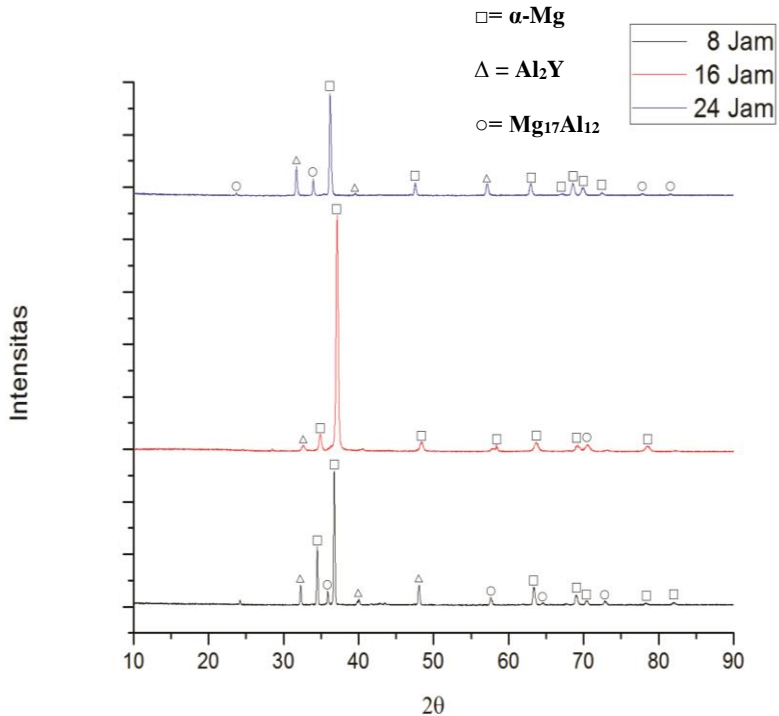


Gambar 4.1 Hasil uji XRD paduan Mg-5Al-1% Y sebelum diberikan proses perlakuan panas

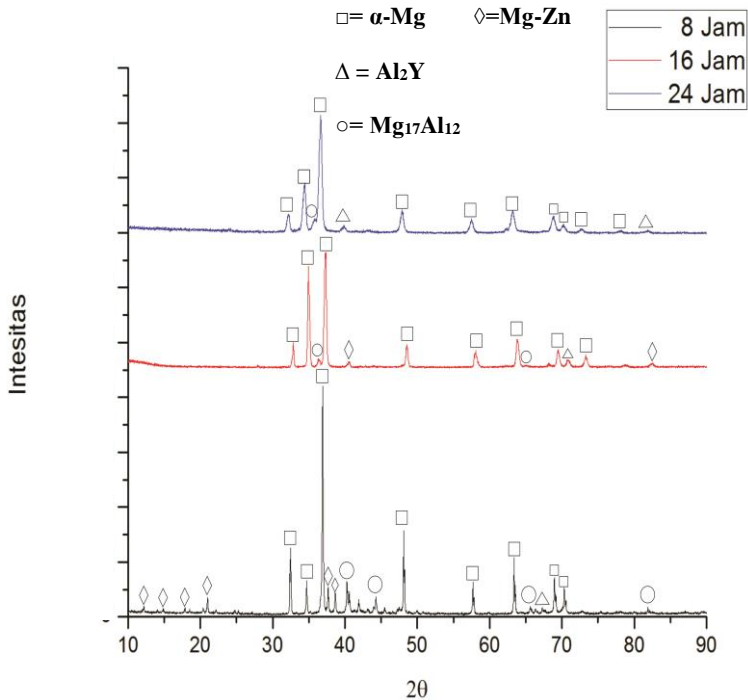
Hasil analisa *X-ray Diffraction* paduan Mg-5Al-1% Y dengan dilakukan proses perlakuan panas temperatur 150°C waktu *holding* 8 jam, 16 jam dan 24 jam ditunjukkan pada gambar 4.2. Pada gambar dengan waktu *holding* 8jam 2θ tertinggi untuk fasa α -Mg sebesar 36.7192, 2θ tertinggi untuk fasa Al_2Y sebesar 32.2576 dan 2θ tertinggi untuk fasa β - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ sebesar 63.5133. Gambar dengan waktu *holding* 16 jam, 2θ tertinggi untuk fasa α -Mg sebesar 37.1522, 2θ tertinggi untuk fasa β - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ sebesar 63.6680, 2θ tertinggi untuk fasa Al_2Y sebesar 32.7442. Gambar dengan waktu *holding* 24 jam 2θ tertinggi untuk fasa α -Mg



sebesar 36.2561, 2θ tertinggi untuk fasa Al_2Y sebesar 39.6169, dan 2θ tertinggi untuk fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ sebesar 57.1517.



Gambar 4.2 Hasil uji XRD paduan Mg-5Al-1%Y setelah proses perlakuan panas temperatur 150 °C

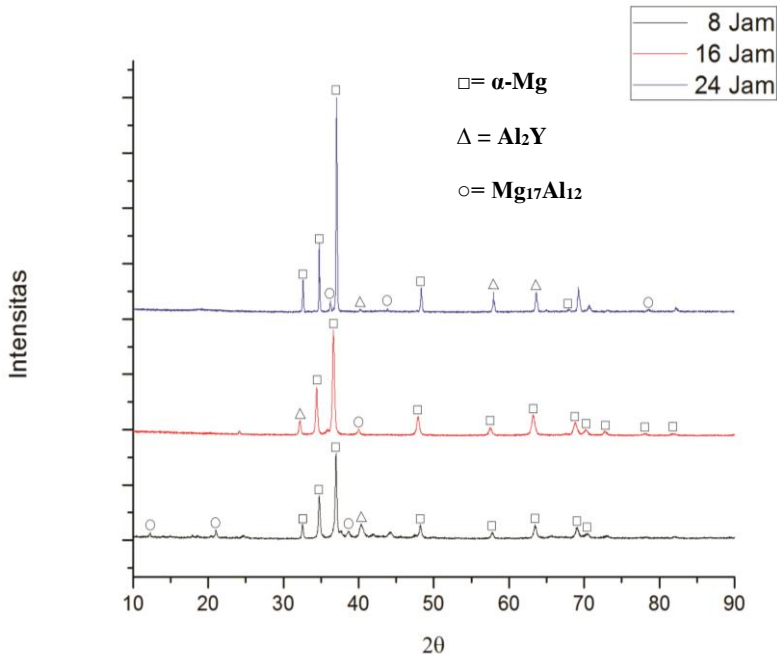


Gambar 4.3 Hasil uji XRD paduan Mg-5Al-1%Y setelah proses perlakuan panas temperatur 200°C

Gambar 4.3 diatas adalah grafik hasil uji *X-ray Diffraction* paduan Mg-5Al-1%Y setelah proses perlakuan panas dengan temperatur 200°C. Gambar dengan waktu holding 8 jam 2θ tertinggi untuk fasa α -Mg sebesar 36.9033, 2θ tertinggi fasa β - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ sebesar 40.2600 dan 2θ tertinggi untuk fasa Al_2Y sebesar 68.9707, 2θ tertinggi untuk fasa Mg-Zn sebesar 37.6559 fasa Mg-Zn adalah impuritas akibat proses peleburan. Gambar dengan waktu holding 16 jam 2θ tertinggi untuk fasa α -Mg sebesar 37,3798, 2θ tertinggi untuk fasa β - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ sebesar



36.2664, 2θ tertinggi untuk fasa Al_2Y sebesar 78,7116. Gambar dengan waktu holding 24 jam 2θ tertinggi untuk fasa $\alpha\text{-Mg}$ sebesar 36.7115, 2θ tertinggi untuk fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ sebesar 34.3757, dan 2θ tertinggi untuk fasa Al_2Y sebesar 39.8643.



Gambar 4.4 Hasil uji XRD paduan Mg-5Al-1% Y setelah proses perlakuan panas temperatur 250 °C

Gambar 4.4 diatas adalah grafik hasil uji *X-ray Diffraction* paduan Mg-5Al-1%Y setelah proses perlakuan panas dengan temperatur 250°C. Gambar 4.4 (a) dengan waktu holding 8 jam 2θ tertinggi untuk fasa $\alpha\text{-Mg}$ sebesar 36.9802, 2θ tertinggi untuk fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ sebesar 21.0406, dan 2θ tertinggi untuk fasa Al_2Y sebesar 38.7615. Gambar 4.4 (b) dengan waktu holding 16 jam 2θ tertinggi untuk fasa $\alpha\text{-Mg}$ sebesar 36.6192, 2θ tertinggi untuk fasa



β -Mg₁₇Al₁₂ sebesar 40.0295, 20 tertinggi untuk fasa Al₂Y sebesar 32.2480. Gambar 4.4 (c) dengan waktu holding 24 jam 20 tertinggi untuk fasa α -Mg sebesar 37.0778, 20 tertinggi untuk fasa β -Mg₁₇Al₁₂ sebesar 58.1049, 20 tertinggi untuk fasa Al₂Y sebesar 34.7763.

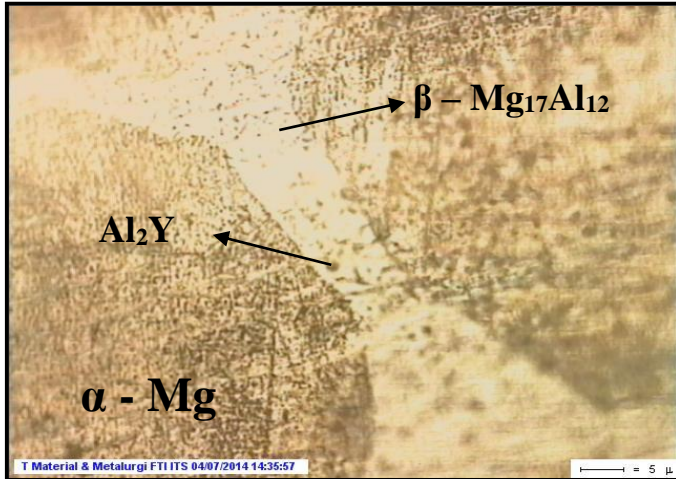
4.1.2 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan Mikro bertujuan untuk memperoleh informasi yang lebih detail tentang strukturmikro yang ada pada material awal maupun yang telah mengalami perlakuan panas. Untuk material yang mengalami perlakuan panas strukturmikro yang diambil adalah penampang pada material supaya diketahui perbedaan strukturmikro yang terbentuk. Pembesaran yang diambil adalah 100x perbesaran dengan menggunakan larutan esta (larutan picric acid dan alcohol 98%).

4.1.2.1 Material Awal

Material awal dari percobaan ini adalah material paduan Mg 5Al 1% Y yang dibuat dengan cara *conventional melting* dalam kondisi sebelum diberikan perlakuan panas. Material awal ini telah mengalami serangkaian proses diantaranya *cutting* dan *grinding* untuk preparasi spesimen.

Pada gambar 4.5 hasil struktur mikro paduan Mg-5Al-1% Y tanpa proses perlakuan panas sebelumnya, menunjukkan keberadaan fasa α -Mg, fasa β -Mg₁₇Al₁₂ dan fasa Al₂Y. Dengan perbesaran 1000x terlihat bawa bentuk dari fasa Al₂Y sebelum dilakukan proses perlakuan panas memiliki berbentuk pipihan dan memiliki ukuran yang kecil dan sebarannya merata di daerah fasa sekunder β -Mg₁₇Al₁₂.

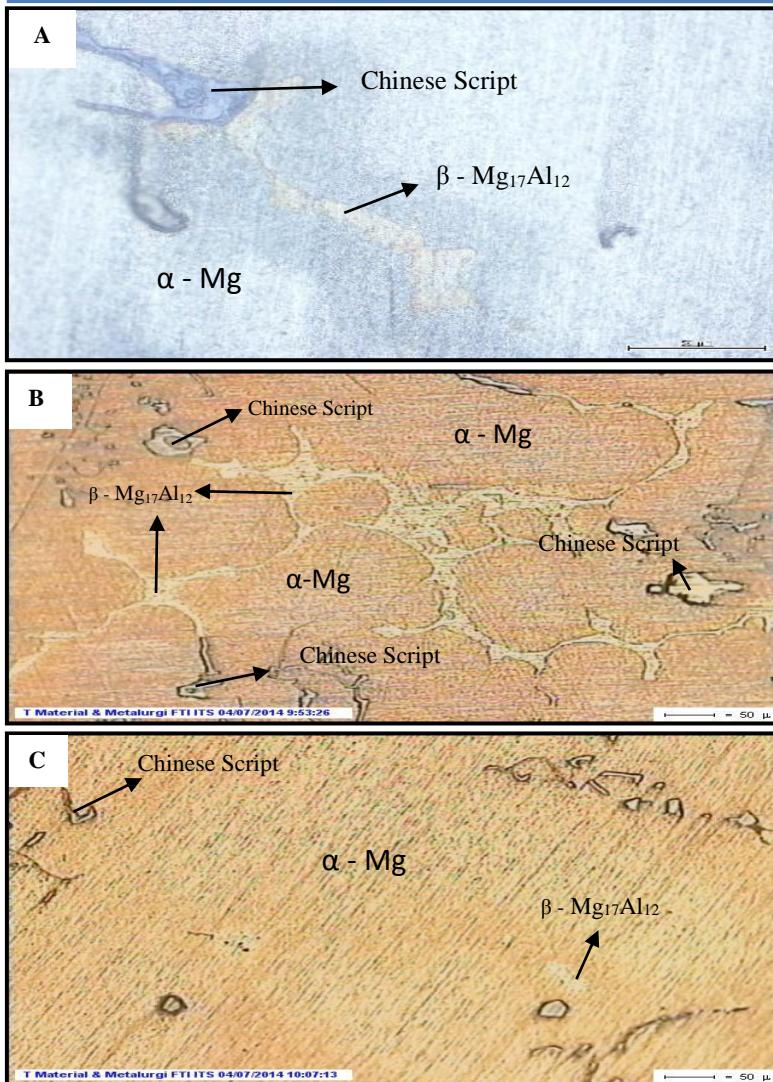


Gambar 4.5 Struktur mikro paduan Mg-5Al-1% Y sebelum dilakukan proses perlakuan panas dengan perbesaran 1000x

4.1.2.2 Material Hasil Perlakuan Panas (*aging*)

Proses perlakuan panas dilakukan terlebih dahulu proses *solution treatment* dengan temperature 400°C dan di *holding* selama 1 jam, kemudian di *quench* cepat menggunakan media air. Proses selanjutnya adalah proses *aging* pada temperatur 15 °C, 200°C dan 250°C dengan waktu *holding* selama 8 jam, 16 jam dan 24 jam.

Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro, dibawah ini akan di tunjukan gambar dari struktur mikro Mg 5Al 1% dengan variasi temperatur sama namun waktu *holding* yang di pakai berbeda yaitu 8 jam, 16 jam dan 24 jam. Dibawah ini akan ditunjukkan hasil strukur mikro temperatur 150°C variasi waktu *holding* 8 jam, 16 jam dan 24 jam



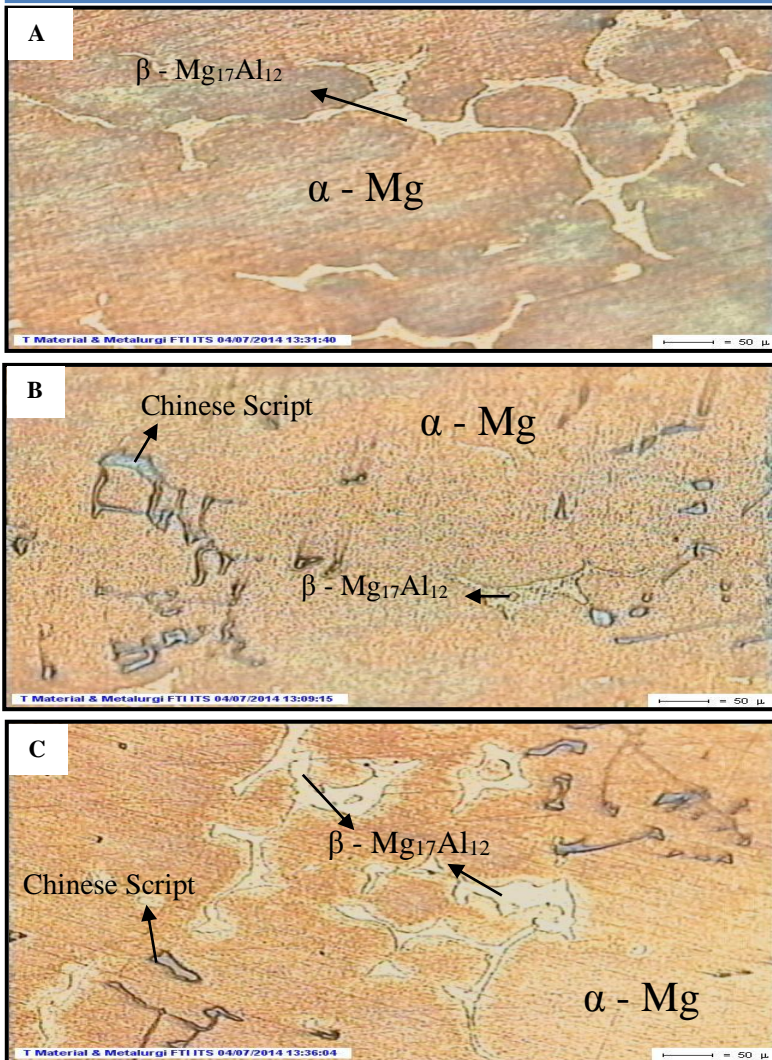
Gambar 4.6 Struktur mikro paduan Mg 5Al 1%Y temperatur 150°C dengan waktu holding (a) 8 jam (b) 16 jam (c) 24 jam (perbesaran 100x)



Pada gambar 4.6 terlihat perbedaan dari fasa *chinese script*, pada saat waktu holding 8 jam fasa *chinese script* terlihat lebih besar dibandingkan dengan waktu holding 24 jam, namun keberadaan fasa *chinese script* semakin lama waktu holding nya akan semakin banyak dan penyebarannya dimana-mana. Dan pada gambar 4.6 terdapat fasa sekunder yaitu $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$. Pada waktu holding 8jam fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ memiliki ukuran yang cukup besar dibandingkan dengan yang lainnya, namun seiring lamanya waktu yang diberikan akan membuat fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ menjadi lebih kecil dan tidak membentuk batas butir yang lebih panjang.

Berikut ini akan ditunjukkan hasil struktur mikro Mg-5Al-1%Y temperatur 200°C variasi waktu holding 8 jam, 16 jam dan 24 jam seperti pada gambar 4.7

Pada gambar 4.7 dapat diidentifikasi bahwa adanya pengaruh penambahan waktu penahanan akan mengakibatkan perubahan dari fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ dan perubahan pendistribusian *chinese script*. Pada gambar 4.7 (a) terlihat bahwa fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ memiliki pendistribusian yang lebih merata dan membentuk sebuah daerah batas butir. Sedangkan pada gambar 4.7 (b) mulai terjadi perubahan dari fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$, fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ tidak lagi membentuk sebuah daerah garis batas butir melainkan membentuk sebuah daerah sendiri dan memiliki ukuran yang lebih lebih kecil. Seiring dengan bertambahnya waktu penahanan hingga 24 jam pada gambar 4.7 (c) fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ berubah kembali dengan membentuk garis batas butir namun ukurannya menjadi lebih kecil dibandingkan dengan fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ pada saat diberikan waktu penahanan 8 jam.

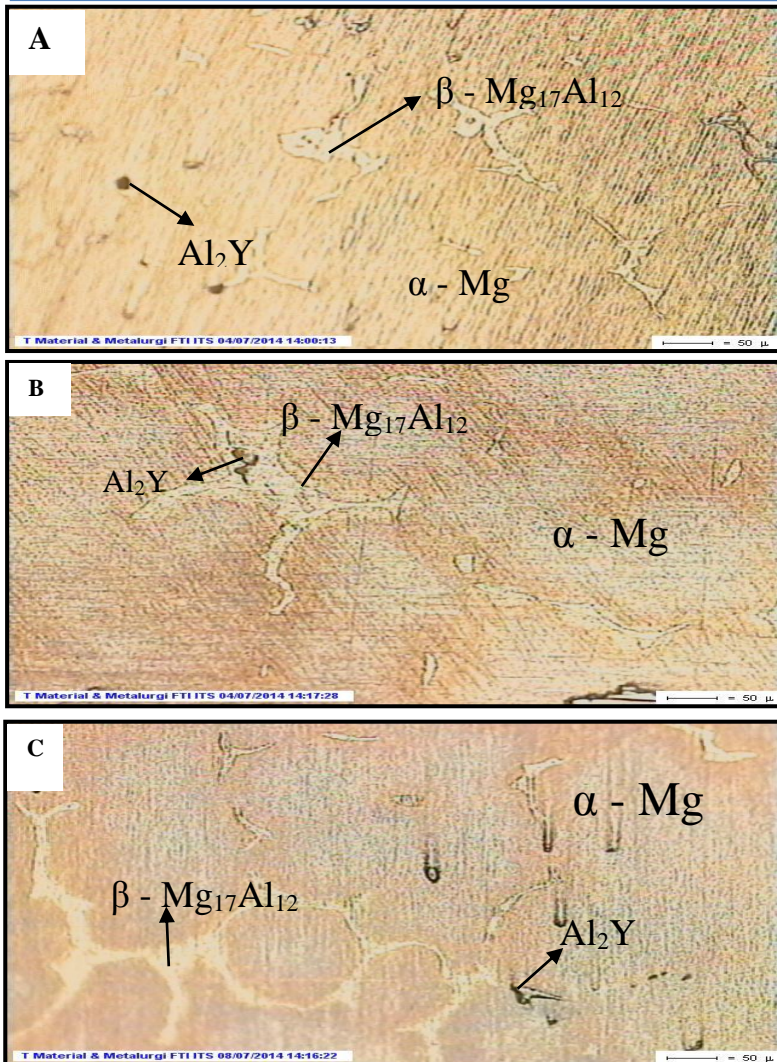


Gambar 4.7 Struktur mikro paduan Mg-5Al-1%Y temperatur 200 °C dengan waktu holding (a) 8 jam (b) 16 jam (c) 24 jam (perbesaran 100x)



Berikut ini akan ditunjukkan hasil struktur mikro Mg-5Al-1%Y temperature 250°C variasi waktu *holding* 8jam, 16 jam dan 24 jam seperti pada gambar 4.8

Pada gambar 4.8 dapat diidentifikasi bawah dengan adanya pengaruh penambahan waktu penahanan akan mengakibatkan perubahan dari fasa β -Mg₁₇Al₁₂ dan juga pada gambar 4.8 dapat diidentifikasi keberadaan fasa Al₂Y. Pada gambar 4.8 terlihat pendistribusian fasa β -Mg₁₇Al₁₂ yang merata disekitar fasa α -Mg. fasa β -Mg₁₇Al₁₂ dengan waktu penahanan 8 jam memiliki ukuran yang kecil. Hal ini berbeda dengan waktu penahanan 16 jam pada gambar 4.8 (b) fasa β -Mg₁₇Al₁₂ memiliki pendistribusian yang tidak merata, bahkan fasa β -Mg₁₇Al₁₂ menjadi semakin besar dan belum membentuk daerah garis batas butir. Pada gambar 4.8 (c) fasa β -Mg₁₇Al₁₂ telah membentuk daerah garis batas butir yang merata disekitar fasa α -Mg. Pada gambar 4.8 keberadaan fasa Al₂Y dapat diidentifikasi pada daerah fasa β -Mg₁₇Al₁₂. Dengan adanya pengaruh penambahan waktu penahanan akan menyebabkan pertumbuhan Al₂Y yang semakin membesar dan terpusat pada satu zona di daerah β -Mg₁₇Al₁₂.

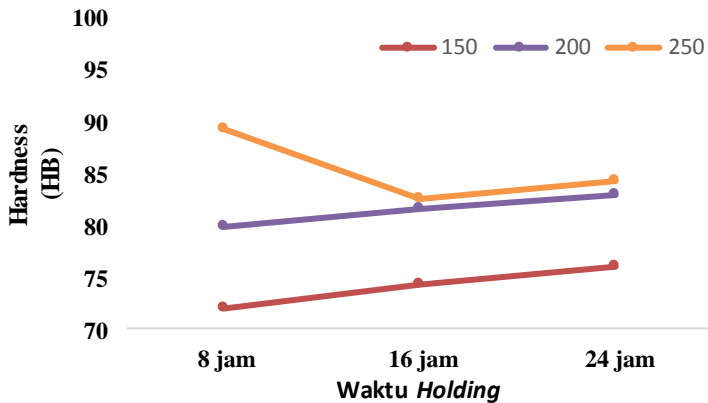


Gambar 4.8 Struktur mikro paduan Mg-5Al-1%Y temperatur 250°C dengan waktu holding (a) 8 jam (b) 16 jam (c) 24 jam (perbesaran 100x)



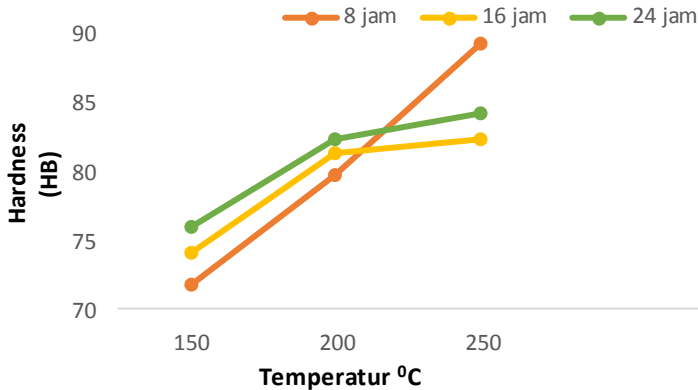
4.1.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengukuran kekerasan dilakukan dengan cara mengambil 5 titik. Dari hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan metode brinell yang menggunakan parameter indenter bola berukuran 2.5 mm dan pembebanan 62.5kg (ASTM E-10). Didapatkan nilai kekerasan awal paduan Mg 5Al 1%Y sebesar 65.03 HB. Data pengukuran kekerasan setelah proses aging ditunjukkan pada tabel dibawah ini.



Gambar 4.9 Grafik kekerasan paduan Mg-5Al-1%Y terhadap temperatur *aging*.

Pada gambar 4.9 menjelaskan tentang pengaruh perbedaan temperatur terhadap nilai kekerasan. Terlihat bahwa ketika temperatur yang diberikan 150 °C terjadi peningkatan nilai kekerasan seiring waktu *holding* yang diberikan hal ini terjadi juga ketika temperatur 200 °C. Namun ketika temperatur 250 °C terjadi penurunan nilai kekerasan ketika waktu *holding* yang diberikan melebihi 8 jam, dan seiring penambahan waktu *holding* hingga 24 jam nilai kekerasannya meningkat kembali.

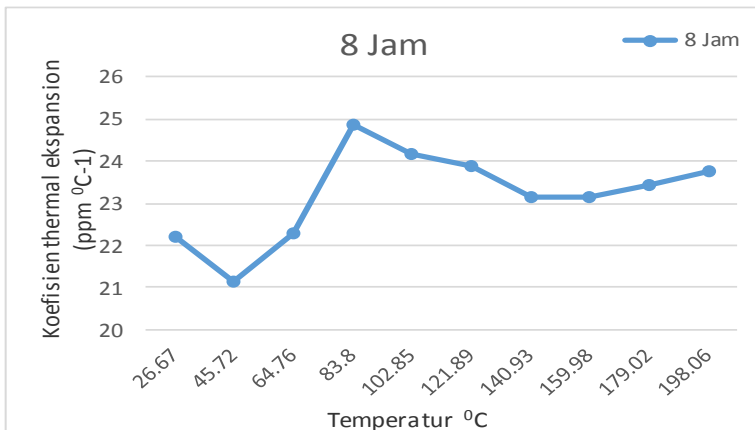


Gambar 4.10 Grafik kekerasan paduan Mg-5Al-1%Y terhadap waktu *holding*.

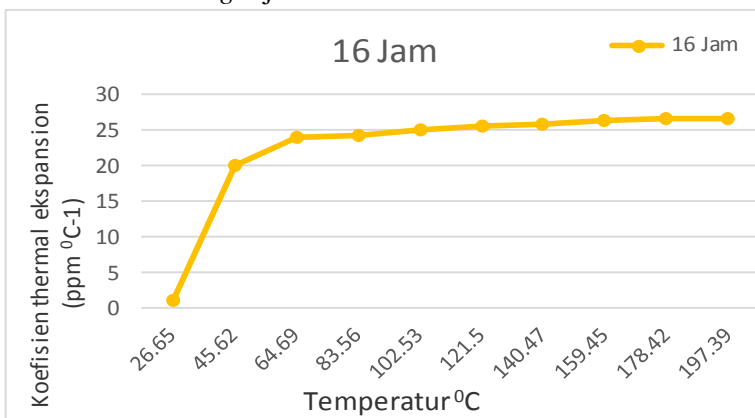
Pada gambar 4.10 menjelaskan tentang pengaruh variasi waktu *holding* yang diberikan terhadap nilai kekerasannya. Dari grafik diatas terlihat bahwa dengan waktu yang sama yaitu 8 jam nilai kekerasannya akan terus meningkat secara signifikan seiring dengan temperatur yang diberikan. Hal ini juga berlaku pada waktu 16 jam dan 24 jam, namun ketika temperatur yang diberikan lebih dari 200 °C nilai kekerasannya tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan ketika waktu yang diberikan adalah 8jam.

4.1.4 Thermomechanical Analysis (TMA)

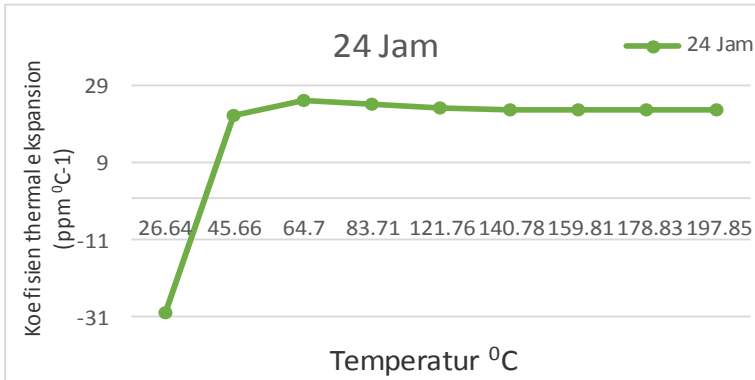
Pengujian *thermomechanical* ini dilakukan untuk membandingkan kemampuan paduan Mg-5Al-1%Y dengan variasi temperatur 200 °C terhadap stress thermal yang bekerja dan juga sebagai pembanding terhadap spesifikasi *engine block*. Data yang didapat dari pengujian *thermomechanical* analisi ini adalah grafik *thermal expansion* terhadap kenaikan temperatur.



Gambar 4.11 Grafik Koefisien ekspansi termal terhadap penambahan temperatur material paduan Mg-5Al-1%Y dengan temperature *aging* 200 °C waktu *holding* 8 jam



Gambar 4.12 Grafik Koefisien ekspansi termal terhadap penambahan temperatur material paduan Mg-5Al-1%Y dengan temperature *aging* 200 °C waktu *holding* 16 jam



Gambar 4.13 Grafik Koefisien ekspansi termal terhadap penambahan temperatur material paduan Mg-5Al-1%Y dengan temperature *aging* 200 °C waktu *holding* 24 jam

Pada gambar 4.11 dapat diidentifikasi bahwa ketika waktu *holding* 8 jam nilai *koefisien thermal ekspansi* nya menunjukkan grafik yang tidak beraturan. Berbeda dengan waktu *holding* 16 jam, nilai *koefisien thermal ekspansi* nya memiliki grafik yang stabil dibandingkan dengan waktu *holding* 8 jam. Namun pada grafik 4.11 (c) dengan waktu *holding* 24 jam pada saat material berada di temperatur kamar nilai *koefisien thermal ekspansi* -30.31. Seiring dengan kenaikan temperatur nilai *koefisien thermal ekspansi* terus meningkat pada saat temperature 64.7 °C dan ketika temperatur yang diberikan diatas 64.7 °C grafiknya menurun secara perlahan.



4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini, menguji pengaruh variasi temperatur dan waktu *holding aging* paduan Mg-5Al-1% Y. Pada hasil pengujian XRD (*X-ray Diffraction*) menghasilkan beberapa puncak yang memberikan informasi tentang fasa-fasa yang dapat diidentifikasi pada paduan tersebut. Menurut Ahmed A. Moosa (2011), secara detail pengaruh penambahan *Rare Earth* pada paduan magnesium akan membentuk fasa-fasa yang mempengaruhi sifat-sifat mekanik pada material paduan tersebut. Fasa-fasa yang terbentuk pada paduan magnesium-aluminium (Mg-Al) diantaranya α -Mg, $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ dan Al_2Y . Ren Wenliang (2009) menyebutkan perbedaan elektron negativitas pada dua unsur dapat digunakan untuk memprediksi kemungkinan pembentukan senyawa. Dalam hal ini dapat dilihat dari perbedaan eletron negativitas, Magnesium (Mg) yang memiliki nilai elektron negativitas sebesar 1,3. Aluminium (Al) yang memimiliki nilai elektron negativitas sebesar 1,5 dan Yttrium (Y) nilai elektro negativitas sebesar 1,2.

Pada gambar 4.2 Hasil analisa *X-ray Diffraction* paduan Mg-5Al-1% Y dengan dilakukan proses perlakuan panas temperatur 150°C dengan waktu *holding* 8 jam, 16 jam dan 24 jam ditunjukkan pada gambar 4.2. Pada gambar dengan waktu *holding* 8 jam 20 tertinggi sebesar 36.7192 untuk α -Mg, 20 tertinggi sebesar 32.2576 untuk fasa Al_2Y dan 20 tertinggi sebesar 63.5133 untuk fasa β - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$. Gambar dengan waktu *holding* 16 jam, 20 tertinggi sebesar 37.1522 untuk fasa α -Mg, 20 tertinggi sebesar 63.6680 untuk fasa β - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$, 20 tertinggi sebesar 32.7442 untuk fasa Al_2Y . Gambar dengan waktu *holding* 24 jam 20 tertinggi sebesar 36.2561 untuk fasa α -Mg, 20 tertinggi sebesar



39.6169 untuk fasa Al_2Y , dan 20 tertinggi sebesar 57.1517 untuk fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$.

Gambar 4.3 adalah grafik hasil uji *X-ray Diffraction* paduan Mg-5Al-1\%Y setelah proses perlakuan panas dengan temperatur 200°C . Gambar dengan waktu holding 8 jam 20 tertinggi untuk fasa $\alpha\text{-Mg}$ sebesar 36.9033, 20 tertinggi fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ sebesar 40.2600 dan 20 tertinggi untuk fasa Al_2Y sebesar 68.9707, 20 tertinggi untuk fasa Mg-Zn sebesar 37.6559 fasa Mg-Zn adalah impuritas akibat proses peleburan. Gambar dengan waktu holding 16 jam 20 tertinggi untuk fasa $\alpha\text{-Mg}$ sebesar 37,3798, 20 tertinggi untuk fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ sebesar 36.2664, 20 tertinggi untuk fasa Al_2Y sebesar 78,7116. Gambar dengan waktu holding 24 jam 20 tertinggi untuk fasa $\alpha\text{-Mg}$ sebesar 36.7115, 20 tertinggi untuk fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ sebesar 34.3757, dan 20 tertinggi untuk fasa Al_2Y sebesar 39.8643.

Gambar 4.4 adalah grafik hasil uji *X-ray Diffraction* paduan Mg-5Al-1\%Y setelah proses perlakuan panas dengan temperatur 250°C . Gambar dengan waktu holding 8 jam 20 tertinggi sebesar 36.9802 untuk fasa $\alpha\text{-Mg}$, 20 tertinggi sebesar 21.0406 untuk fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$, 20 tertinggi sebesar 38.7615 untuk fasa Al_2Y . Gambar dengan waktu holding 16 jam 20 tertinggi sebesar 36.6192 untuk fasa $\alpha\text{-Mg}$, 20 tertinggi sebesar 40.0295 untuk fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$, 20 tertinggi sebesar 32.2480 untuk fasa Al_2Y . Gambar dengan waktu holding 24 jam 20 tertinggi sebesar 37.0778 untuk fasa $\alpha\text{-Mg}$, 20 tertinggi sebesar 58.1049 untuk fasa $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$, 20 tertinggi sebesar 34.7763 untuk fasa Al_2Y .

Menurut Ahmed A Moosa (2011) penambahan Aluminium pada paduan Magnesium akan menyebabkan penyempurnaan butiran-butiran magnesium. Struktur mikro Mg-5Al terdiri dari



fasa matriks α -Mg primer, dan fasa sekundernya $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$. Aluminium meningkatkan kekerasan Mg dengan efek penguatan yang berbasis pada larutan padat ketika terjadi pembentukan α -Mg dan fasa β - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$. Selain meningkatkan sifat mekanik, aluminium secara signifikan akan meningkatkan *castability* magnesium.

Chinese script juga dapat diidentifikasi pada paduan Mg-5Al 1%Y. *Chinese script* terbentuk ketika fasa solid α dan fasa solid β tercampur pada inti butiran sampai semua fasa solid α dan fasa solid β berubah menjadi padatan. Hasil dari tercampurnya fasa solid α dan fasa solid β mengakibatkan adanya endapan pada struktur mikro yang terdiri partikel yang berbentuk khas dari satu fasa didalam fasa lainnya. Semakin cepat proses pendinginannya maka *chinese script* ini akan menjadi lebih besar. Penambahan *yttrium* pada paduan Mg 5Al menyebabkan adanya penggerasan butiran. Fasa yang terbentuk yaitu fasa Al_2Y . Fasa Al_2Y pada paduan Mg 5Al Y menurut diagram fasa terneri akan terbentuk sempurna ketika temperatur nya mencapai 1100°C . Keberadaan struktur mikro dari fasa Al_2Y itu terdapat pada fasa sekunder β - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$. Pada penelitian ini fasa Al_2Y sudah dapat di indetifikasi keberadaannya, warna fasa Al_2Y pada struktur mikro berwarna hitam. Struktur mikro Al_2Y terdapat didalam fasa sekunder β - $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$.

Pada penelitian ini dengan menggunakan variasi temperatur 150°C , 200°C , 250°C akan mengakibatkan pertumbuhan fasa presipitat Al_2Y akan semakin membesar seiring dengan lamanya waktu *holding* yang diberikan. Semakin lama waktu yang diberikan akan mengakibatkan pertumbuhan fasa Al_2Y menjadi lebih terpusat pada satu zona. Sehingga pada hasil metalografi



dapat diidentifikasi bahwa adanya penambahan waktu mengakibatkan perubahan luas dari presipitat Al_2Y .

Pengaruh penambahan variasi temperatur terhadap nilai kekerasan paduan Mg-5Al-1%Y seperti pada gambar 4.9 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur yang diberikan maka akan berpengaruh terhadap nilai kekerasannya. Pada saat temperatur 150°C terlihat nilai kekerasannya meningkat seiring dengan waktu *holding* yang diberikan yaitu 71.80 HB, 74.21 HB dan 75.40 HB. Begitu pula pada saat material dilakukan proses *aging* dengan temperatur 200°C . Material yang telah diberikan proses *aging* dengan temperatur 200°C memiliki nilai kekerasan yang terus meningkat seiring dengan waktu *holding* yang diberikan hingga 24 jam. Nilai kekerasan dari temperatur 200°C adalah 79.80 HB, 81.40 HB, 82.78 HB. Namun kenaikan nilai kekerasan ini tidak berlaku pada material yang telah dilakukan proses *aging* dengan menggunakan temperatur 250°C . Dari hasil pengujian ketika material dengan proses *aging* 250°C waktu *holding* diatas 8 jam terjadi penurunan nilai kekerasan. Hal ini dikarenakan material mengalami *over aging*.

Pada gambar 4.10 yang menjelaskan pengaruh variasi waktu terhadap nilai kekerasan material paduan Mg-5Al-1%Y terlihat bahwa ketika waktu *holding* 8 jam nilai kekerasan akan terus meningkat drastis seiring dengan bertambahnya temperatur yang diberikan. Hal ini berbeda ketika waktu *holding* yang diberikan 16 jam dan 24 jam. Terlihat jelas bahwa ketika temperatur diatas 200°C kenaikan nilai kekerasan tidak cukup signifikan dibandingkan dengan waktu *holding* 8 jam.

Menurut Minglong Ma, dkk, 2013 yang meneliti tentang pengaruh *solution* dan *aging* pada struktur mikro dan sifat



mekanik cacat kompleks paduan WE93 menyebutkan bahwa pada paduan WE93 yang telah diberikan proses *aging* pada temperatur 250°C mengalami penurunan nilai kekerasan diatas waktu *holding* 10 jam. Meskipun terjadi kenaikan nilai kekerasannya diatas 10 jam, namun kenaikan nilai kekerasannya tidak konstan. Sehingga, Minglong Ma, dkk menyimpulkan bahwa durasi waktu *holding* seharusnya tidak lama, dan dalam penelitiannya Minglong Ma, dkk mengatakan waktu dan temperatur yang baik dalam proses *aging* adalah pada saat temperatur 225°C dengan waktu *holding* 40 jam.

Untuk aplikasi *engine block* diperlukan koefisien material yang rendah didalam aplikasinya. Pada penelitian ini material Mg-5Al-1%Y juga telah dilakukan pengujian *Thermomechanical Analysis* (TMA). TMA adalah salah satu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui koefisien termal suatu material. Pada gambar 4.11, gambar 4.12 dan gambar 4.13 terlihat 3 grafik koefisien termal yang berbeda untuk material paduan Mg-5Al-1%Y temperatur 200°C dengan menggunakan variasi waktu *holding* 8 jam, 16 jam, dan 24 jam. Pada gambar 4.11 material paduan Mg-5Al-1%Y yang memiliki koefisien termal yang rendah adalah ketika material tersebut telah dilakukan perlakuan panas dengan menggunakan variasi waktu *holding* 8 jam, namun pada material ini memiliki grafik yang tidak stabil dibandingkan dengan grafik 4.11 (b). Jika dihubungkan dengan nilai kekerasan, paduan Mg 5Al 1%Y temperatur 200°C waktu *holding* 16 jam ini memiliki nilai kekerasan yang cukup untuk aplikasinya yaitu sekitar 92HV atau setara dengan 80HB (ASTM E-140) meskipun nilai koefisien termalnya bernilai 26,73 ppm °C⁻¹.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Penambahan temperatur *aging* mengakibatkan pertumbuhan presipitat Al_2Y yang lebih terpusat pada daerah $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ dan memiliki luasan yang semakin besar.
2. Penambahan waktu *holding aging* mengakibatkan pertumbuhan presipitat Al_2Y yang semakin banyak.
3. Pengaruh persebaran dan ukuran Al_2Y mengakibatkan nilai kekerasan yang terus menunjukkan peningkatan

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan:

1. Pada peleburan material sebaiknya dilakukan pengadukan untuk mendapatkan paduan yang homogen.
2. Pada saat pembuatan *raw* material sebaiknya dilakukan pada satu jenis paduan agar tidak terbentuk impuritas



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

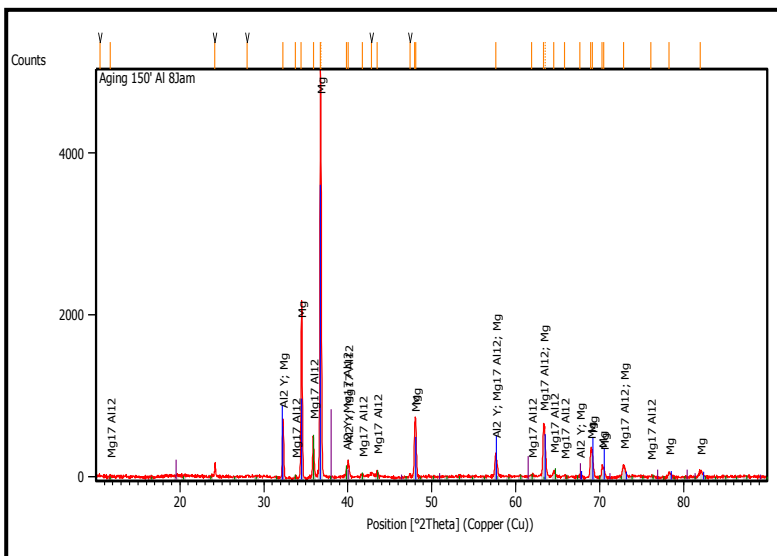
1. A. Moosa Ahmed, 2011. *Effect of Lanthanum Addition on the Microstructure of Mg-4Al Alloy*. Al-Khwarizmi Engineering Journal.
2. Annonim. Magnesium en.wikipedia.org (Diakses 19 Desember 2013)
3. BYRON B, Global Overview of Automotive Magnesium Requirements and Supply & Demand“, Automotive Seminar der International Magnesium Association (IMA); Aalen, 09.10.1997.
4. C. Blawert, N. Hort and K.U. Kainer. 2004. *Automotive Applications of Magnesium and Its Alloys*. Trans. Indian Inst. Met. Vol.57, No. 4, pp. 397-408.
5. Enrique Meza Garcia, M.Sc, 2010. *Influence of alloying Elements on the Microstructure and Mechanical Properties of Extrude Mg-Zn Based Alloy*. Berlin
6. F.Z. Fang, L.C. Lee, X.D. Liu. 2005. *Mean flank temperature measurement in high speed dry cutting of magnesium alloy*. Journal of Materials Processing Technology 167 (2005) 119–123
7. G. Neite, K. Kubota, K. Higashi, and F. Hehmann (2005) In R.W. Cahn, P. Haasen, and E. J. Kramer (eds) *Materials Science and Technology*, Vol. 8. Germany: Wiley - VCH.
8. H. Okamoto (1998) In A. A. Nayeb-Hashemi and J. B. Clark (eds) *Phase Diagrams of Binary Magnesium Alloys*. Metals Park, OH: ASM International.
9. Jiang-Feng Nie, 2012. *Precipitation and Hardening in Magnesium Alloys*. Australia

10. M. M. Avedesian and H. Baker (ed.) (1999) *ASM Specialty Handbook—Magnesium and Magnesium Alloys*. Materials Park, OH: ASM International.
11. R. Muraliraja, H. Vettrivel, Dr. R. Elansezhian, 2013. *Synthesis and Characteristic of Magnesium Alloy added with Yttrium To Study the Microstructure and Mechanical Properties*. Pondhicherry
12. Ren Wenliang, Li Quan'an, Li Jianhong, Li Kejie and Zhang Xingyuan, 2010. *Effects of yttrium on microstructure and mechanical properties of Mg-6Al magnesium alloy*. China
13. Qiuming Peng, Ning Ma, Daqing Fang, Hui Li, Riping Liu, Yongjun Tian, 2012. *Microstructures, aging behaviour and mechanical properties in hydrogen and chloride media of backward extruded Mg-Y based biomaterials*. China
14. S.K. Panigrahi, W. Yuan, R.S. Mishra, R. DeLorme, B. Davis, R.A. Howell, K. Cho, 2011. *A study on the combined effect of forging and aging in Mg-Y-RE alloy*. USA
15. Surdia Tata, Shironku Saito. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramita, Jakarta.
16. Suherman Wahid, 2003. *Ilmu Logam 1 dan 2*. ITS-Surabaya
17. Suherman Wahid, 2003. *Perlakuan Panas*. ITS-Surabaya
18. W. D. Callister (2003) *Materials Science and Engineering: An introduction*. NewYork: Wiley

Lampiran

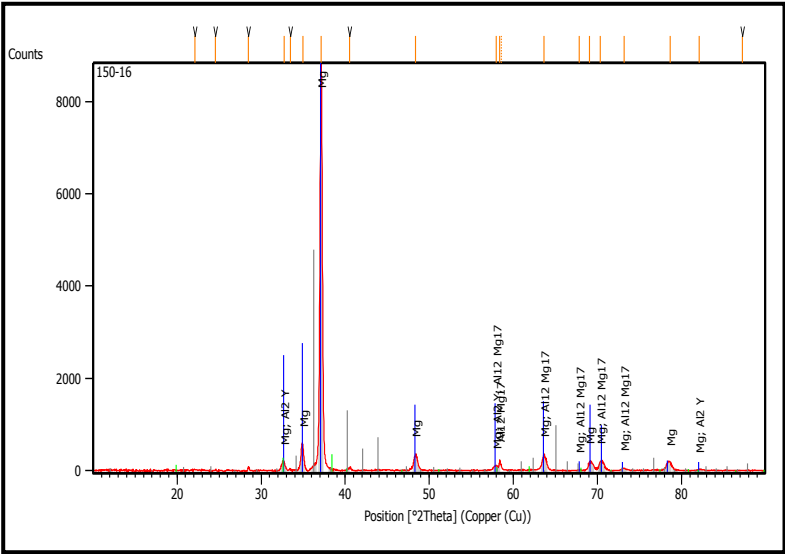
X-ray Diffraction (XRD)

a. Temperatur *aging* 150 °C, waktu *holding* 8 jam



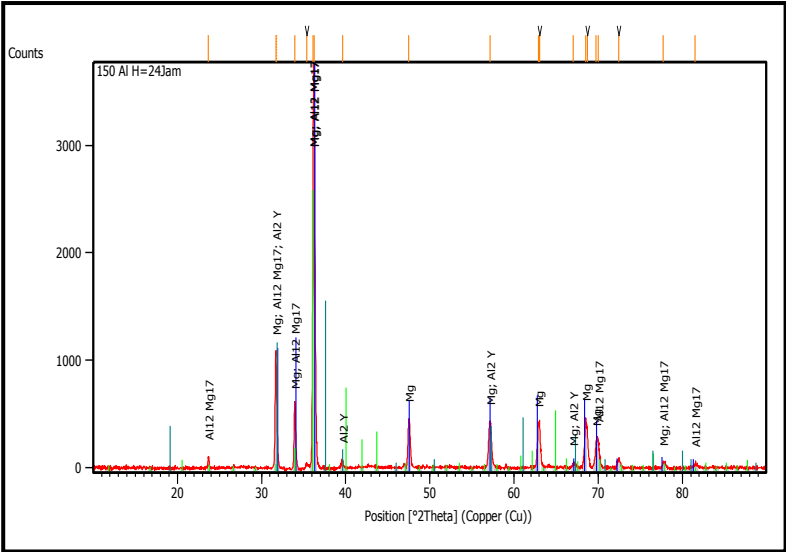
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
32.2576	658.68	0.1673	2.77518	14.11
36.7192	4668.79	0.1428	2.44555	100.00
63.5133	458.13	0.1428	1.46721	9.81

b. Temperatur *aging* 150 °C, waktu *holding* 16 jam



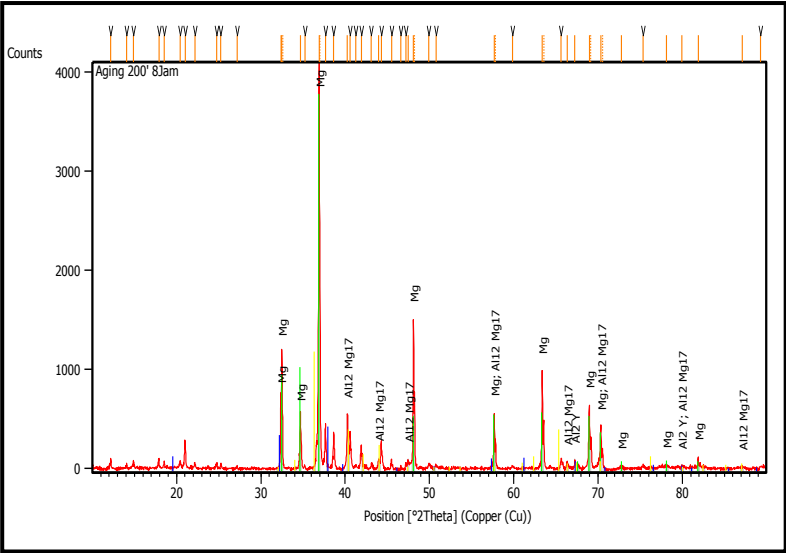
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
32.7442	185.77	0.2676	2.73504	2.13
37.1522	8736.39	0.3011	2.42004	100.00
63.6680	339.77	0.2448	1.46039	3.89

c. Temperatur *aging* 150 °C, waktu *holding* 24 jam



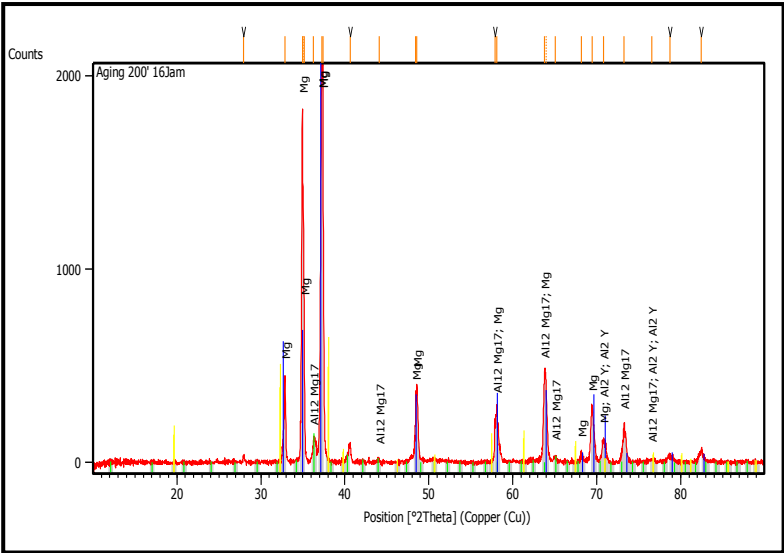
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
32.7442	185.77	0.2676	2.73504	2.13
37.1522	8736.39	0.3011	2.42004	100.00
63.6680	339.77	0.2448	1.46039	3.89

d. Temperatur *aging* 200 °C, waktu *holding* 8 jam



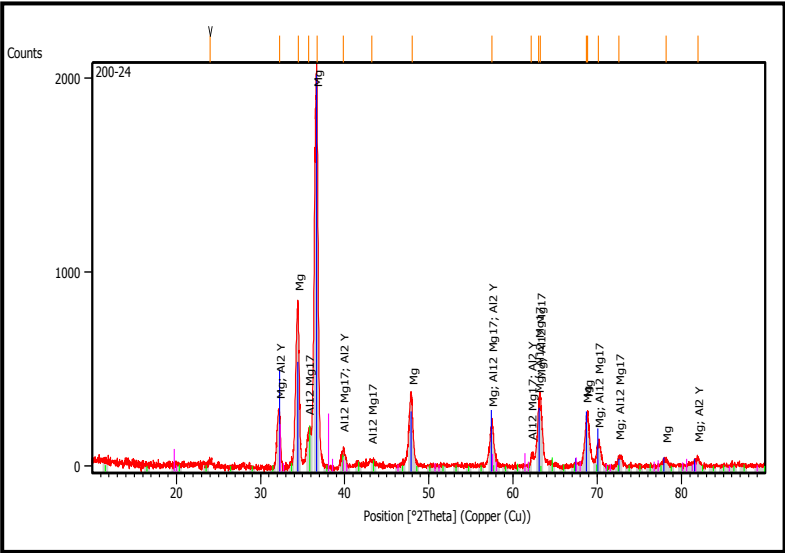
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
36.9033	4136.21	0.0816	2.43377	100.00
40.2600	568.40	0.0816	2.23826	13.74
68.9707	653.49	0.1020	1.36048	15.80

e. Temperatur *aging* 200 °C, waktu *holding* 16 jam



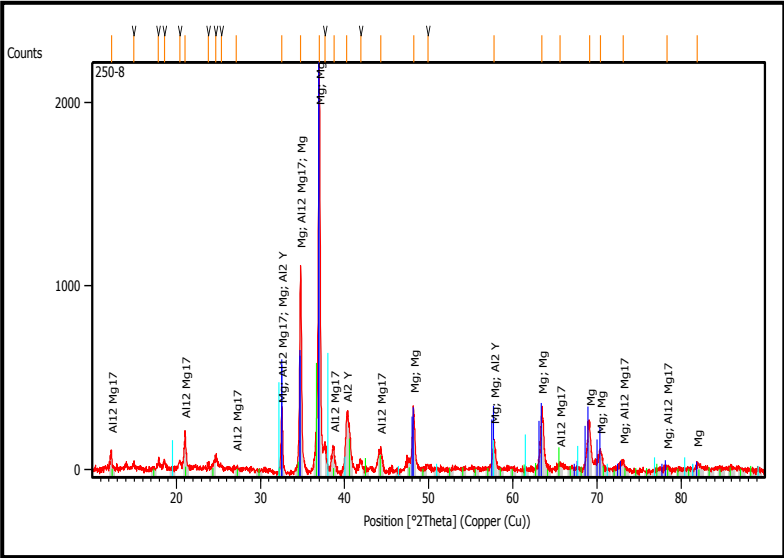
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
36.2664	110.42	0.2040	2.47504	5.37
37.2415	2018.21	0.0816	2.41244	98.23
78.7116	25.75	0.9792	1.21473	1.25

f. Temperatur *aging* 200 °C, waktu *holding* 24 jam



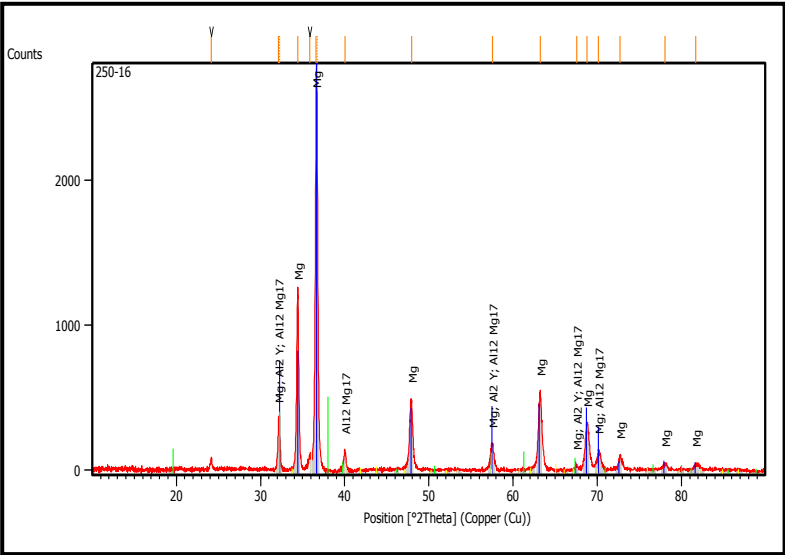
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
34.4757	832.99	0.0669	2.60154	43.19
36.7115	1928.62	0.0836	2.44807	100.00
39.8643	100.08	0.1338	2.26143	5.19

g. Temperatur *aging* 250 °C, waktu *holding* 8 jam



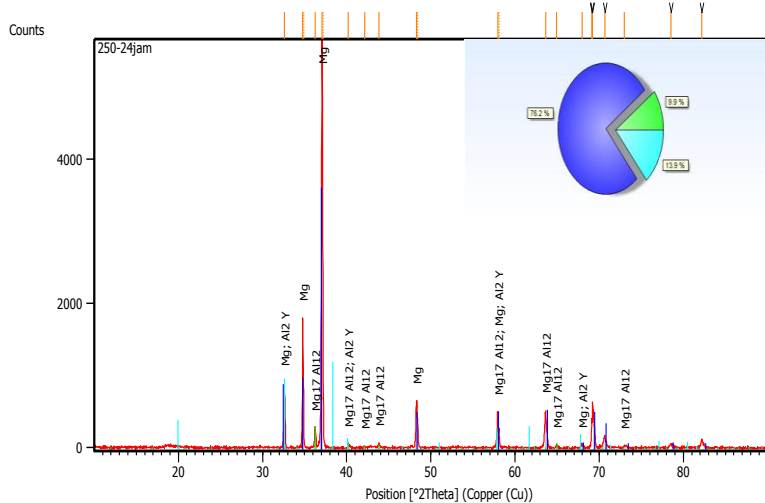
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.0406	191.27	0.0836	4.22238	8.47
36.9802	2259.42	0.1506	2.43090	100.00
38.7615	154.66	0.2342	2.32319	6.84

h. Temperatur *aging* 250 °C, waktu *holding* 16 jam



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
32.1600	358.39	0.1020	2.78107	13.11
36.6192	2733.84	0.1428	2.45200	100.00
40.0295	140.15	0.2448	2.25061	5.13

i. Temperatur *aging* 250 °C, waktu *holding* 24 jam



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
34.7763	1799.39	0.0612	2.57760	31.54
37.0778	5705.08	0.1836	2.42272	100.00
58.1049	217.43	0.0612	1.59019	3.81

Hardness Brinnell

Temperatur Aging (°C)	Waktu Holding Aging (jam)	Titik	Kekerasan (HB)	Kekerasan Rata-rata (HB)
150	8	1	71.2	71,84
		2	69.9	
		3	76.3	
		4	72.8	
		5	73.5	
	16	1	74.8	74,12
		2	73.6	
		3	75.9	
		4	73.5	
		5	72.8	
	24	1	75.9	75.94
		2	73.6	
		3	76.6	
		4	75.9	
		5	77.7	
200	8	1	80.7	79,80
		2	79.2	
		3	79.2	
		4	80.3	
		5	80.0	
	16	1	82.2	81.40
		2	79.5	
		3	80.7	
		4	81.9	
		5	82.7	
	24	1	81.1	82.79
		2	84.4	
		3	82.2	
		4	82.7	

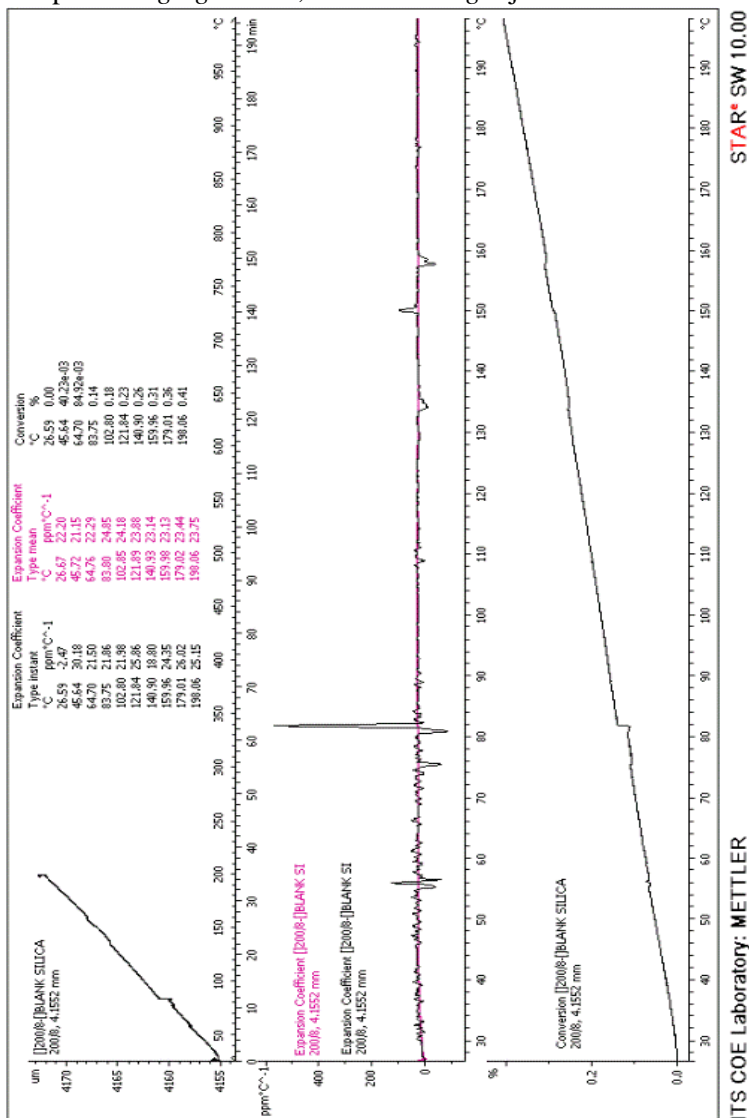
		5	83.5	
250	8	1	89.5	
		2	87.2	
		3	92.8	89.26
		4	87.7	
		5	89.1	
	16	1	83.1	
		2	82.2	
		3	80.3	82.44
		4	82.7	
		5	83.9	
	24	1	81.9	
		2	85.5	
		3	83.5	84.26
		4	84.4	
		5	86.0	

Thermomechanical Analysis (TMA)

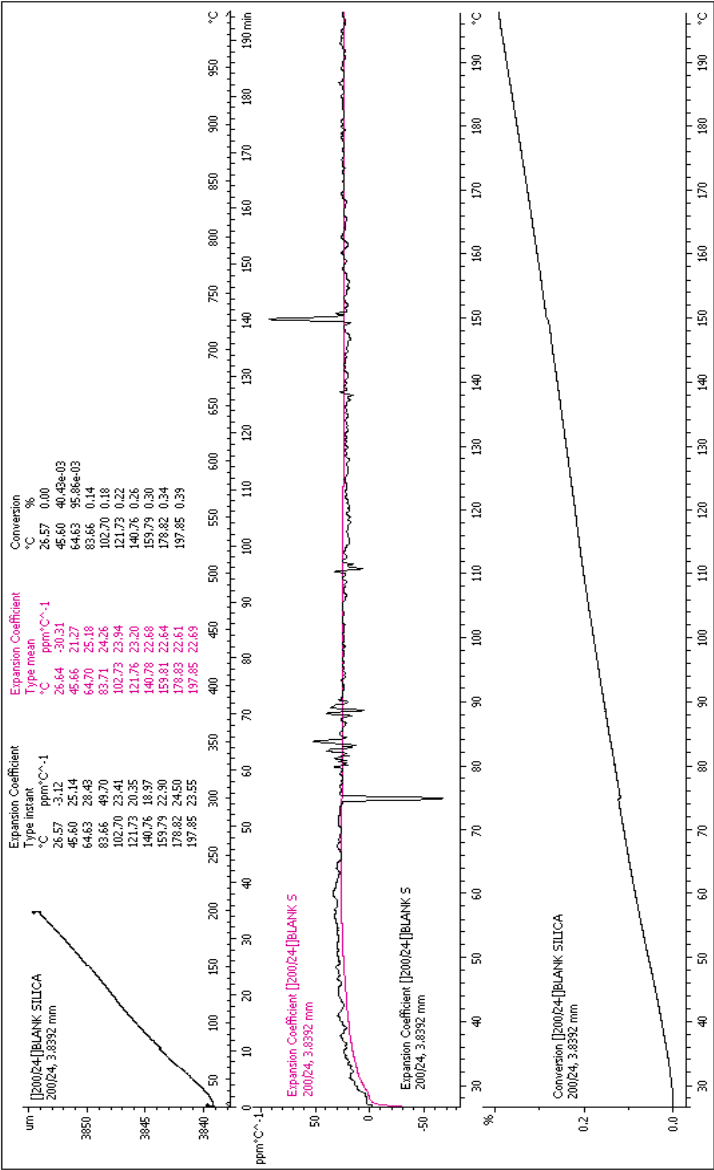
Paduan Mg 5Al 1%Y temperatur 200 °C	Temperatur °C	Koefisien <i>thermal</i> <i>ekspansion</i> (ppm °C⁻¹)
8 Jam	26.67	22.20
	45.72	21.15
	64.76	22.29
	83.80	24.85
	102.85	24.18
	121.89	23.88
	140.93	23.14
	159.98	23.13
	179.02	23.44
	198.06	23.75
16 Jam	26.65	0.81
	45.62	19.98
	64.69	24.12
	83.56	24.35
	102.53	25.08
	121.50	25.55
	140.47	25.82

	159.45	26.44
16 Jam	178.42	26.73
	197.39	26.73
	26.64	-30.31
	45.66	21.27
	64.70	25.18
	83.71	24.26
24 Jam	102.73	23.94
	121.76	23.20
	140.78	22.68
	159.81	22.64
	178.83	22.61
	197.85	22.69

a. Temperatur *aging* 200 °C, waktu *holding* 8 jam



c. Temperatur aging 200 °C, waktu *holding* 24 jam

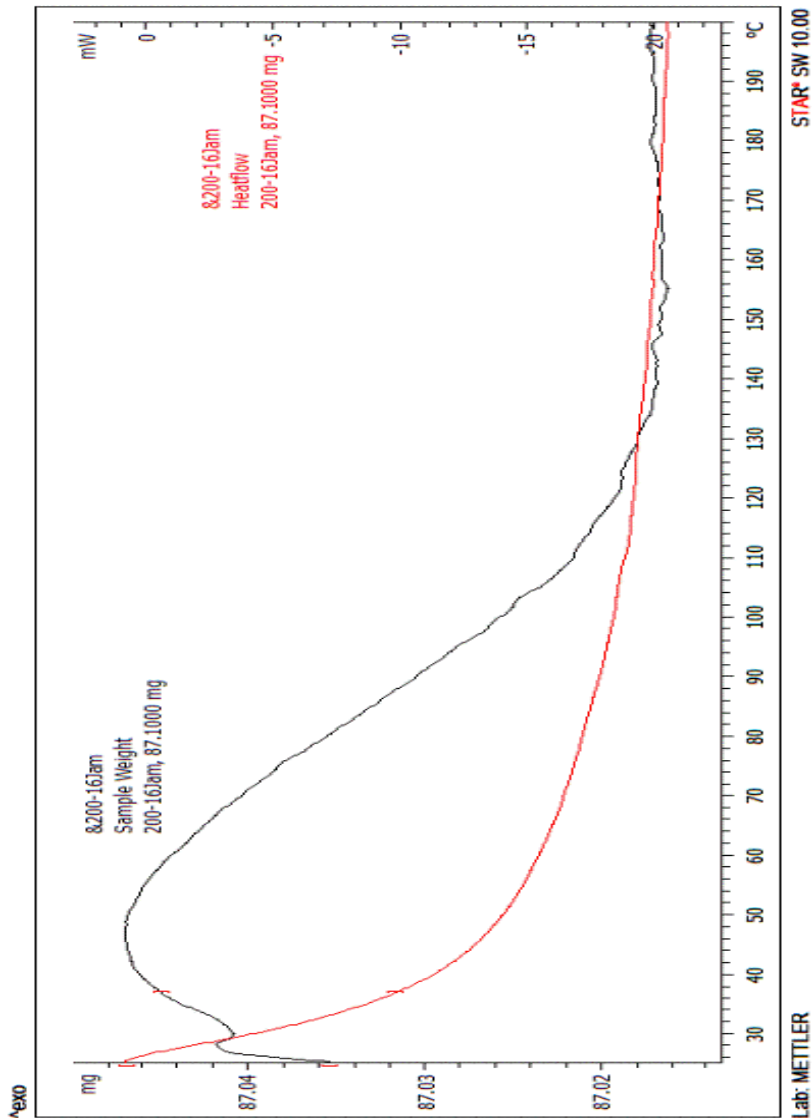


STAR® SW 10.00

ITS COE Laboratory: METTLER

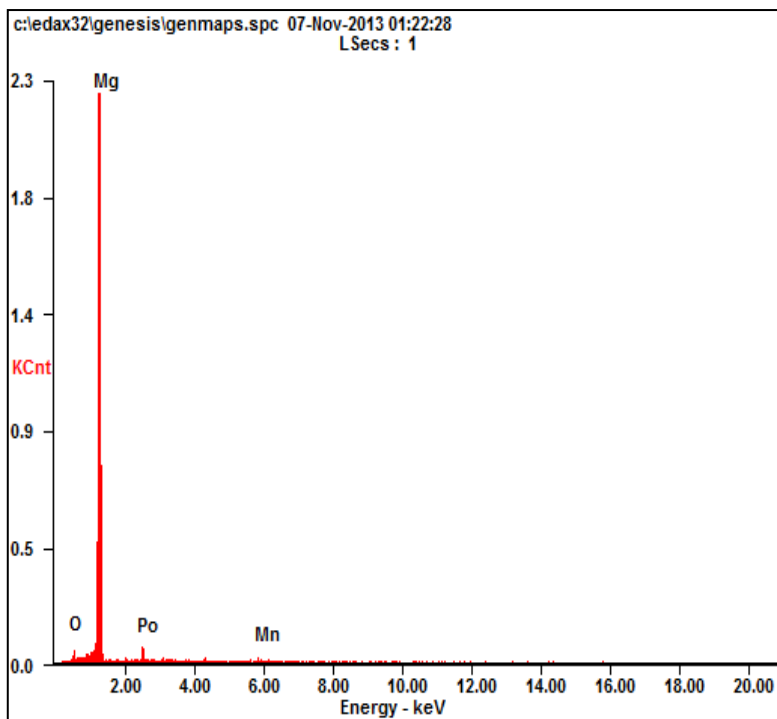
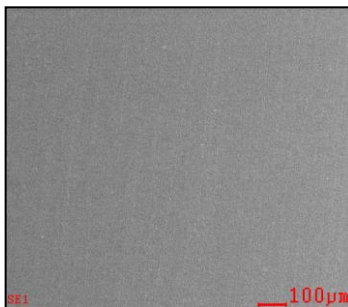
DCS & TGA

Paduan Mg-5Al-1%Y temperatur 200°C waktu *holding* 16 jam.



EDAX Magnesium

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
OK	02.59	04.13
MgK	90.42	94.74
PoM	06.15	00.75
MnK	00.84	00.39
Matrix	Correction	ZAF



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Rieco Malik Darmawan, dilahirkan di kota Surabaya, 19 Januari 1992, merupakan putra pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Arief Sudiaman D, SE. dan Ibu Colexta Mayasari, SE. Penulis menempuh pendidikan formal di Surabaya dan Sidoarjo yakni TK Ta'Miriyah Surabaya, SDN Pucang 4 Sidoarjo, SMPN 4 Sidoarjo dan SMAN 1 Wonoayu, Sidoarjo . Setelah lulus dari SMA tahun 2010, Penulis

mengikuti jalur Kemitraan Mandiri dan diterima menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dan terdaftar secara administrasi dengan NRP. 2710 100 009. Semasa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi, serta pernah berkeja paruh waktu disalah satu café di Surabaya dan masih bekerja pada salah satu Event Organizer. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT Petrokimia Gresik . Penulis menutup kuliah di kampus dengan Tugas Akhir berjudul **“Pengaruh Temperatur Aging dan Waktu Holding Aging Presipitasi Hardening Pada Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Paduan Mg-5Al-1%Y untuk Aplikasi Komponen Otomotif Temperatur Tinggi”**.

Email : riecomalikdarmawan@yahoo.co.id